

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

NEKONVENČNÍ ELEKTRICKÝ STROJ
NON - CONVENT ELECTRO MOTORS

2014

Martin Koutný

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Martin Koutný**
Studijní program: N2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 3907T001 Elektroenergetika
Téma: **Nekonvenční elektrický stroj**
Non - Convent Electro Motors

Zásady pro vypracování:

Nekonvenční elektrické stroje, druhy, konstrukce, materiály, napájení, elektrická zapojení.

Realizace vzorku vybraného stroje, ověření funkce.

Změření základních charakteristik.

Vícekritériální vyhodnocení výsledných vlastností realizovaného stroje.

Seznam doporučené odborné literatury:

Dle pokynů vedoucího DP.

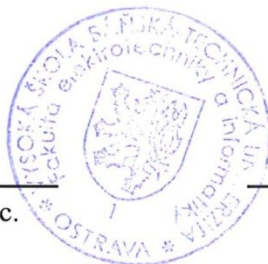
Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Petr Bernat, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2013

Datum odevzdání: 07.05.2014

prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení

„Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.“

V Ostravě dne 7. 5. 2014


.....

Poděkování

Těmito slovy bych chtěl vyjádřit poděkování vedoucímu diplomové práce Ing. Petru Bernatovi, Ph.D. za vstřícnost, trpělivost a možnost konzultovat svou práci, Ing. Petru Kačorovi, Ph.D. za možnost změřit magnetické vlastnosti jader. Dále děkuji společnostem: Therma FM, VACUUMSCHMELZE a RYSTON Electronics s.r.o. a jejich zástupcům za poskytnutí vzorků magnetických jader.

Anotace

Cílem diplomové práce nabídnout čtenáři informace o nekonvenčních elektrických strojích, o nichž hovoří některé publikace odkazy ve spojitosti s energií vakua.

Kapitola 2 hovoří o příčinách snahy člověka zkonstruovat zařízení na výrobu elektrické energie, jež by bylo ekonomické i ekologické. Je zaměřena na problémy spojené s využíváním fosilních paliv.

Kapitola 3 popisuje zákony termodynamiky.

Kapitola 4 se zaměřuje na vakuum a jeho zajímavé vlastnosti. Ve spojení s vakuem je popsán Casimirův efekt jako demonstrační příklad silových projevů fluktuací elektromagnetických polí ve vakuu.

Kapitola 5 je zaměřena na magnetizmus a zabývá se jeho příčinou ve spojitosti s věčným pohybem subatomárních částic.

Kapitola 6 uvádí některé nekonvenční elektrické stroje, které jsou údajně schopny pracovat s koeficientem výkonu $COP > 1$.

Kapitola 7 je věnována feromagnetickým materiálům, možnostem jejich aplikace v elektrických strojích a měření hysterezních charakteristik na vzorcích feromagnetických jader.

Kapitola 8 je zaměřena na tvorbu virtuálního modelu Adamsova pulzního motoru v programu SolidWorks, zapojení elektrického obvodu a praktickou realizaci motoru

Kapitola 9 je zaměřena na magnetostatickou analýzu modelu v Ansys Workbench

Kapitola 10 je věnována měření zatěžovacích charakteristik a stanovení účinnosti motoru.

Závěrem je vícekritériální vyhodnocení výsledných vlastností realizovaného Adamsova motoru.

Klíčová slova

Nekonvenční elektrický stroj, zákony termodynamiky, vakuum, Casimirův jev, magnetické materiály, Johnsonův magnetický motor, Adamsův motor generátor, měření momentové charakteristiky.

Abstract

The thesis attempts to prime readers on unconventional electric machines, which are often discussed in the publication in relation to vacuum energy.

Chapter 2 tells the story of how such machinery, both economic and environment-friendly in its very nature, came to people's minds. It also discusses fossil fuels related issues.

Chapter 3 sums up the thermodynamics laws.

Chapter 4 focuses on interesting the vacuum. The chapter also briefly touches upon the Casimir effect.

Chapter 5 focuses on magnetism and its source on the background of the eternal movement of subatomic particles.

Chapter 6 lists a number of unconventional electric machines claimed to be able to operate with $COP > 1$.

Chapter 7 is dedicated to ferromagnetic materials, potential application in electric machines and measuring hysteretic properties of ferromagnetic core samples.

Chapter 8 discusses modelling the Adams pulsed motor generator using SolidWorks and electric circuit.

Chapter 9 is focus to analysing its magnetostatic properties in Ansys Workbench

Chapter 10 is focus to measuring engine load characteristics and determining engine efficiency.

Key Words

Non conventional electric machine, law of thermodynamic, vacuum, Casimir effect, magnetic materials, Johnson magnetic motor, Adams motor generator, measurement of speed-torque characteristic.

Seznam použitých symbolů a zkratek

Symbol	Název	Jednotka
U	Energie	[J]
W	Práce	[J]
Q	Teplo	[J]
S	Entropie	[J·K ⁻¹]
T	Teplota	[K]
V	Objem	[m ³]
P	Tlak	[Pa]
p	Hybnost	[kg·m·s ⁻¹]
F	Síla	[N]
F _{Cas}	Casimirova síla	[N]
d	Vzdálenost elektrod	[m]
B	Magnetická indukce	[T]
B _r	Remanentní magnetická indukce	[T]
B _{max}	Maximální magnetická indukce	[T]
B _s	Saturační magnetická indukce	[T]
B _v	Magnetická indukce ve vzduchové mezeře	[T]
B _M	Magnetická indukce permanentního magnetu	[T]
Φ _v	Magnetický indukční tok ve vzduchové mezeře	[Wb]
S _v	Průřez vzduchové mezery	[m ²]
S _M	Průřez magnetu	[m ²]
S _s	Průřez pólu statoru	[m ²]
S _r	Průřez vyniklého pólu rotoru	[m ²]
H	Intenzita magnetického pole	[A·m ⁻¹]
H _c	Koercitivní intenzita magnetického pole	[A·m ⁻¹]
H _{max}	Maximální intenzita magnetického pole	[A·m ⁻¹]
H _v	Intenzita magnetického pole ve vzduchové mezeře	[A·m ⁻¹]
H _M	Intenzita magnetického pole permanentního	[A·m ⁻¹]
H _{Zr}	Intenzita magnetického pole železa rotoru	[A·m ⁻¹]

H_{zs}	Intenzita magnetického pole železa statoru	$[A \cdot m^{-1}]$
N_d	Demagnetizační činitel	$[-]$
l_M	Délka permanentního magnetu	$[m]$
l_v	Délka vzduchové mezery	$[m]$
τ	Činitel rozptylu ve vzduchové mezeře	$[-]$
P_{Fe}	Měrné ztráty	$[W/kg]$
E	Intenzita elektrického pole	$[V \cdot m^{-1}]$
q	Náboj	$[C]$
q_e	Náboj elektronu	$[C]$
v	Rychlost	$[m \cdot s^{-1}]$
μ	Magnetický moment	$[A \cdot m^2]$
J	Moment setrvačnosti	$[kg \cdot m^2]$
m	Hmotnost	$[kg]$
I	Proud	$[A]$
r	Poloměr	$[m]$
M	Moment síly	$[N \cdot m]$
M_z	Zátěžný moment	$[Nm]$
φ	Rezistivita	$[\mu\Omega/cm]$
μ_0	Permeabilita vakua	$[H \cdot m^{-1}]$
μ_r	Relativní permeabilita	$[-]$
P_1	Příkon	$[W]$
P_2	Výkon	$[W]$
ω	Úhlová rychlost	$[rad^{-1}]$
n	Otáčky	$[ot. \cdot min^{-1}]$
η	Účinnost	$[\%]$
Δx	Změna polohy	
Δp	Změna hybnosti	
Δt	Časová změna	
ΔE	Změna energie	
\hbar	Redukovaná Planckova konstanta	$[J \cdot s]$
h	Planckova konstanta	$[J \cdot s]$

Obsah

1 Úvod	10
2 Energetické zdroje ve formě fosilních paliv	11
3 Zákon termodynamiky	12
3.1 Nultý zákon termodynamiky	12
3.2 První zákon termodynamiky	12
3.2.1 Perpetuum mobile prvního druhu	13
3.3 Druhý zákon termodynamiky	13
3.3.1 Perpetuum mobile druhého druhu	13
3.4 Třetí zákon termodynamiky	13
4 Vakuum	14
4.1 Éter vyplňující prázdňý prostor	14
4.2 Heisenbergův princip neurčitosti	16
4.3 Virtuální částice	17
4.4 Casimírov jev	17
4.4.1 Casimirova síla	18
4.4.2 Aparatura pro měření Casimirova jevu	18
4.4.3 Tepelný Casimírov jev	19
5 Magnetismus	21
5.1 Magnetické pole a jeho silové účinky	21
5.2 Magnetický moment, moment hybnosti a precese momentu hybnosti	22
6 Nekonenční elektrické stroje	25
6.1 Johnsonův motor	26
6.2 Adamsův motor generátor	29
6.3 Systém pro přeměnu energie elektromagnetického záření na elektrickou energii ...	36
7 Feromagnetické materiály	37
7.1 Magneticky měkká feromagnetika	37
7.1.1 Výrobci měkkých feromagnetických materiálů	38
7.2 Magneticky tvrdá feromagnetika	43
7.3 Měření hysterezních charakteristik vzorků magnetických jader	44

7.3.1	Vyhodnocení naměřených výsledků	48
8	Realizovaný Adamsův motor	49
8.1	Virtuální model Adamsova motor generátoru a jeho praktická realizace	49
8.1.1	Stator	49
8.1.2	Rotor.....	55
8.2	Elektrický obvod	63
8.2.1	Popis a schéma zapojení	63
8.2.2	Deska plošných spojů.....	64
9	Magnetostatická analýza Adamsova motoru	66
9.1	Výpočet zjednodušeného magnetického obvodu	66
9.1.1	Feromagnetika v magnetickém obvodu	66
9.2	Výpočet magnetického obvodu v ANSYS Workbench	72
9.2.1	Rozběh motoru.....	77
9.2.2	Průběhy sil působící na rotor během pootočení	81
10	Měření na realizovaném motoru	83
10.1	Měření základních charakteristik	87
10.2	Výpočet účinnosti.....	87
Závěr	93

1 Úvod

Ekologické problémy spojené s těžbou a využíváním fosilních paliv za účelem výroby elektrické energie, přivádí lidstvo k naléhavé potřebě hledat jiné alternativní zdroje. Cílem této práce je nabídnout čtenáři informace o zajímavých vlastnostech „prázdného prostoru“ ve spojitosti s energií vněm obsaženou. Možnosti velice přesného laboratorního měření, dnes totiž nabízí nový pohled na povahu této energie. Tzv. Casimirův jev, utváří nový pohled na vakuum, jako na systém s dynamickou povahou, která se za jistých podmínek projevuje silovými účinky.

Představme si systém využívající pro svou činnost energii vyvěřající ze zdroje, jež se nachází za hranicí našeho vnímání, daleko za možností našich smyslových orgánů nám tento zdroj přímo zprostředkovat. Pokud takový systém opravdu existuje, existuje zcela jistě i široce rozšířená bariéra lidské neochoty si tuto skutečnost připustit. Faktem zůstává, že vše je v pohybu od nejmenší struktury počínaje, až po velké teorie konče.

Následující citát pochází od jednoho z prvních zakladatelů kvantové teorie.

„Princip energie je záležitost zkušenosti. Pokud by tedy jednoho dne měla být jeho všeobecná platnost zpochybněna, což v atomové fyzice není vyloučené, pak by se problém perpetua mobile stal náhle aktuálním.“ Max Planck

V případě, že v prvním momentu nezavrhneme fakt, že vlastně nevíme, kolik toho víme, musíme připustit, že je možné cokoliv.

Počátkem systematického zkoumání elektromagnetických jevů se lidstvu do rukou dostalo mnoho úžasných strojů a zařízení. S vývojem nových materiálů a technologií se stále nabízí možnosti objevit nové. Oblast vývoje magnetických materiálů není v tomto ohledu výjimkou, proto se ve své práci zabývám i jimi a měřením jejich hysterezních charakteristik.

Na základě informací hovořících o elektrických strojích, které údajně pracují i bez zjevného zdroje vstupní energie, stojí za snahu věnovat tomuto tématu alespoň část své pozornosti. Podstata vesmírných jevů může být totiž daleko za rovnicemi popisujícími to, co je nám známo nyní.

Jak přihlásil Albert Einstein:

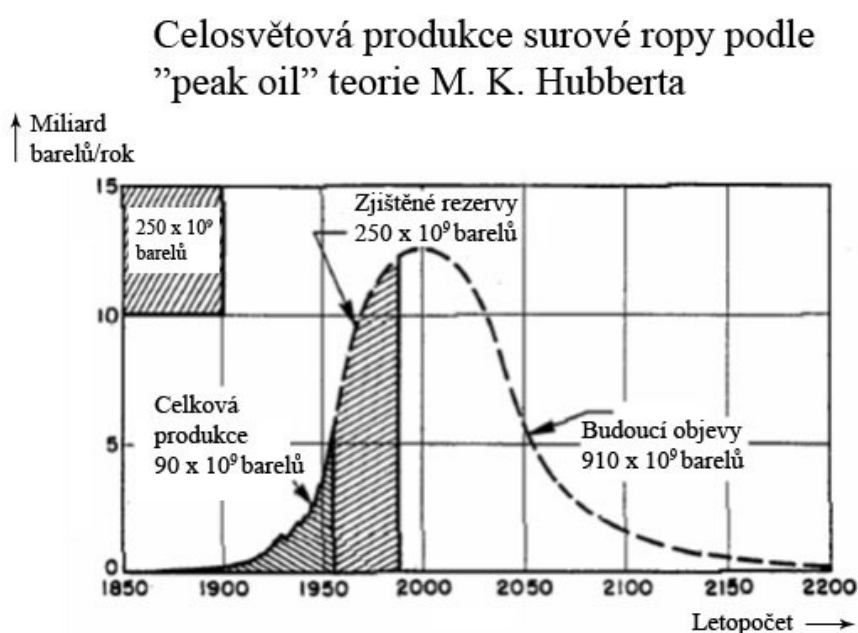
„Žádné množství pokusů nikdy nemůže dokázat, že jsem měl pravdu. Jediný pokus však kdykoliv může dokázat, že jsem se mýlil.“

V tomto ohledu se v diplomové práci zaměřuji především na motory opředené zvláštními informacemi a pokouším se o realizaci vzorku Adamsova motoru. Výsledky měření a výpočtů shrnuji v závěru práce.

2 Energetické zdroje ve formě fosilních paliv

V současnosti pokrývají největší podíl energetické spotřeby lidstva zdroje fosilních paliv. Zejména uhlí, ropa a zemní plyn. Americký geolog M. King Hubbert předložil světu v roce 1956 teorii tzv. Hubbert Peak Theory známou též pod názvem "peak oil". Tato teorie se týká dlouhodobé těžby a spotřeby ropy a ostatní fosilních paliv. Téhož roku M. K. Hubbert nabídl Americkému ropnému institutu model, týkající se známých zásob ropy. Podle tohoto modelu měly Spojené státy dosáhnout vrcholu produkce ropy mezi rokem 1965 a 1970. Podle M. K. Hubberta by mělo být vrcholu v celosvětové produkci ropy dosaženo přibližně o půl století později od publikování jeho teorie. [1]

Na Obr. 1 je křivka ve tvaru zvonu vytvořená M. K. Hubbertem na základě předpokladu, že rezervním objemem surové ropy je cca 250 miliard barelů. Křivka reprezentuje celosvětovou produkci surové ropy, zjištěné rezervy a předpokládané zásoby objevené v budoucnu.



Obr. 1 Křivka vývoje produkce ropy ve spojených státech podle M. K. Hubberta [1]

Produkce ropy kopíruje tvar zvonu, tudíž v celosvětovém měřítku nedojde k náhlému nedostatku ropy. Pokud dosáhne celosvětová produkce ropy svého vrcholu v roce 2000, tak v roce 2020 bude na stejné hodnotě jako v roce 1980. Nicméně v roce 2020 bude, oproti roku 1980, světová populace lidí zhruba dvojnásobná a následkem značného zprůměrnění světa bude spotřeba ropy prudce narůstat. Výsledkem snižujících se zásob ropy je nárůst její ceny. Jako následek nedostatku ropy je možné očekávat válečné konflikty vyspělých zemí s cílem získat přístup k ropným zdrojům a udržet si tím jistou ekonomickou stabilitu. Způsoby přeměny energie spalováním fosilních paliv spojené s neohledupností vůči planetě Zemi a jejím obyvatelům, přivádí člověka k naléhavé potřebě doplnit a postupně nahradit stávající energetické zdroje zdroji alternativními.

3 Zákony termodynamiky

V dějinách lidstva se objevilo mnoho pokusů o realizaci strojů, jež by pracovaly s účinností větší než 100 %. Snaha realizovat stroj s věčným pohybem je na programu mnoha konstruktérů i v dnešní době. Zejména na internetu, nalezneme mnoho odkazů na různorodé konstrukce mechanických a elektrických strojů. Zejména u čistě mechanických strojů je na první pohled patrné, že nemohou pracovat v nepřetržitém chodu a tření nakonec způsobí jejich zastavení. Nicméně lze narazit i na konstrukce elektrických strojů, doprovázené vlivným komentářem, jež se opírá o teorii, která popisuje vakuum jako prostor vyplněný energií. Na kvantové úrovni, údajně dochází ve vakuu k nepřetržitým fluktuacím elektromagnetických polí vlivem vzniku a zániku kladných a záporných virtuálních částic. Blíže se k tomuto fenoménu vrátím v následující kapitole.

Na základě interakce s okolím lze systémy rozdělit následovně:

- a) **izolované** – v idealizovaném případě např. termoska, u které nedochází k výměně energie ani hmotných částic
- b) **uzavřené** – např. z obou stran uzavřená trubice, u níž dochází k výměně energie s okolím, avšak bez výměny hmotných částic
- c) **otevřené** – např. strom, který si okolím vyměňuje jak energii, tak hmotné částice

3.1 Nultý zákon termodynamiky

Systémy v termické rovnováze mají stejnou teplotu. Nultý zákon zavádí teplotu jako termodynamickou veličinu.

3.2 První zákon termodynamiky

Vnitřní energie (U) izolovaného systému je konstantní. Změna vnitřní energie dU , je součtem tepla, které bylo do systému dodáno (dQ) a práce, která byla na systému vykonána (dW).

Změnu vnitřní energie můžeme zapsat jako

$$dU = dQ - dW \quad (1)$$

Veličina dW je objemovou prací. Jde o změnu objemu dV v systému za konstantního tlaku P . Změna objemové práce se vyjádří rovnicí

$$dW = PdV \quad (2)$$

Změnu vnitřní energie můžeme zapsat jako

$$dU = dQ - PdV \quad (3)$$

Dodáme-li např. krystalu energii ve formě tepla, vzroste jeho vnitřní energie o tolik, kolik se nespotřebuje na práci spojenou s růstem jeho objemu (expanzí). [2]

3.2.1 Perpetuum mobile prvního druhu

Produkuje nejméně tolik energie, kolik samo spotřebuje. Jakmile je jednou stroj spuštěn, může pracovat po neomezeně dlouhou dobu.

3.3 Druhý zákon termodynamiky

Druhý zákon je postaven na definici entropie, která je extenzivní funkcí definující stav systému. Zjednodušeně řečeno, entropie definuje neuspořádanost systému. Celková změna entropie v uzavřeném systému je součtem změny entropie uvnitř systému a entropie, která je do systému přenesena z jeho okolí. Entropii přenášenou do systému se definuje rovnice (4), kde dQ je dodané teplo a T je teplota. Je zřejmé, že změna entropie systému při konstantní hodnotě tepla je větší při nižší teplotě. [2]

$$dS = \frac{dQ}{T} \quad (4)$$

Pro reversibilní procesy a rovnovážné stavy platí, že změna entropie je nulová $dS = 0$. Pro spontánní proces v systému pak platí $dS > 0$. Můžeme říci, že entropie se nikdy samovolně nezmenšuje. [2]

3.3.1 Perpetuum mobile druhého druhu

Také nelze sestavit, protože při tepelné výměně těleso o vyšší teplotě nemůže samovolně přijímat teplo od tělesa s nižší teplotou.

3.4 Třetí zákon termodynamiky

Jestliže se teplota ideálního krystalu blíží absolutní nule, blíží se nule i jeho entropie. [2]

V blízkosti absolutní nuly se adiabatický děj přibližuje izotermickému. Tím se ovšem ztrácí účinnost libovolné ochlazovací metody založené na střídání těchto dějů.

Při extrémně nízké teplotě se projevují zvláštní vlastnosti některých látek, jakými jsou supravodivost a supratekutost.

4 Vakuum

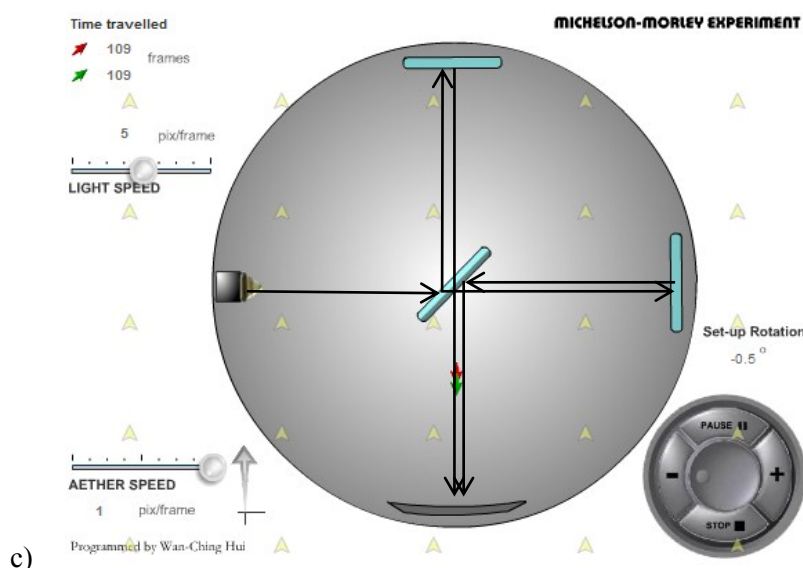
4.1 Éter vyplňující prázdňý prostor

Na základě zjištění, že zvuk pro své šíření vyžaduje přenosové médium, bylo dříve předpokládáno, že i světlo ke svému přenosu vyžaduje určité prostředí. Toto médium bylo označeno pojmem éter. Éter byl zaveden nejen pro světlo, ale i pro elektřinu, magnetismus a teplo. Britský fyzik James Clark Maxwell zjistil, že se elektromagnetické vlny šíří rychlostí světla a navrhl existenci pouze jediného éteru. [3]

Na základě Maxwellových pozorování provedl Albert Michelson v roce 1881 experiment, který měl prokázat přítomnost éteru. Negativní výsledek pokusu byl později zpochybněn a tak byl v roce 1887 pokus mnohem přesněji zopakován za spolupráce Edwarda Morleyho. Experiment byl v budoucnu ještě mnohokrát zopakován, avšak původní výsledek experimentu byl potvrzen. [4]

Na Obr.4.1 je znázorněn princip Michelson-Morleyho experimentu, který jsem doplnil o šipky ve směru paprsků světla. Uprostřed rotující kruhové aparatury je umístěno polopropustné zrcadlo. Směr pohybu éteru vůči aparatuře je znázorněn žlutými šipkami. Ze zdroje světla (vlevo) vychází paprsek a dopadá na polopropustné zrcadlo (uprostřed), kde se dělí na dvě části. Vzniknou tak dva navzájem kolmé paprsky, putující k zrcadlům po okrajích aparatury, kde se opět odráží a vracejí zpět k prostřednímu polopropustnému zrcadlu. Paprsek vracející se dolů částečně prochází polopropustným zrcadlem směrem dolů ke stínítku a paprsek vracející se ke středu od levého zrcadla, je odražen také směrem dolů. Části obou paprsků tak dopadají na stínítko, kde se:

- vzájemně zesílí, jestliže mají stejnou rychlost a dopadají na stínítko se stejnou fází.
- vytvoří interferenční obrazec v případě, že pohybující se éter vůči aparatuře, ovlivnil rychlost jednoho z paprsků.

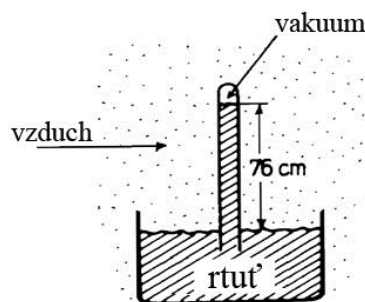


Obr. 4.1 Model demonstrující princip Michelson- Morleyho experimentu [5]

Experiment existenci takového éteru, neprokázal a tak se převážná vědecká komunita od představy éteru odklonila.

Neschopnost lidské mysli uchopit prázdný prostor, dala v historii vzniknout pojmu **horror vacui**, neboli **strach z prázdnoty**. [21]

Italský fyzik a matematik Evangelista Torricelli žijící v 17. století, vešel do povědomí široké veřejnosti jednak pro vědecký příspěvek v oboru matematiky, ale především pro vynalezení barometru. Torricelli při svých pokusech experimentoval s dlouhou skleněnou trubicí délky 1.2 m, kterou naplnil rtutí a poté ji otevřeným koncem ponořil do nádoby plné rtuti. Pozoroval, že velká část rtuti v trubici zůstala a nad její hladinou vnikl vzduchoprázdný prostor. Stal se tak prvním člověkem v historii, který vytvořil vzduchoprázdno neboli vakuum. [7]



Obr. 4.2 Aparatura Evangelisty Torricelliho, díky které vytvořil makroskopické vakuum

Vakuum zastupuje širokou škálu tlaků. V technické praxi nalézá široké praktické využití a je proto podle velikosti tlaku rozděleno do kategorií, které jsou v Tab. 4.2.

Tab. 4.1 Rozdělení vakua podle tlakového pásma a množství hmoty v objemu[22]

Tlakové pásmo	Tlak	Množství hmoty v objemu
	[Pa]	[molekul/cm ³]
Atmosférický tlak	$1,01 \times 10^5$	$2,7 \times 10^{19}$
Hrubé vakuum	$10^{+4} \dots 10^{+2}$	$10^{19} - 10^{16}$
Jemné vakuum	$10^{+2} \dots 10^{-1}$	$10^{16} - 10^{13}$
Vysoké vakuum (HV)	$10^{-1} \dots 10^{-5}$	$10^{13} \dots 10^9$
Ultra vysoké vakuum (UHV)	$10^{-5} \dots 10^{-10}$	$10^9 \dots 10^4$
Extrémně vysoké vakuum (XHV)	$< 10^{-10}$	$< 10^4$

Vynálezce Otto von Guericke demonstroval sílu podtlaku analogií s osmi spřaženými osmi koni, kteří nejsou schopni společnými silami oddělit dvě poloviny vzduchoprázdnej koule, jak ukazuje Obr. 4.3.



Obr. 4.3 Osm koní není schopno od sebe oddělit dvě poloviny vzduchoprázdnej koule [8]

Zařízení pro tvorbu vakua se nazývá vývěva. I kdyby se nám podařilo sestrojít dokonalou vývěvu, která by z prostoru odstranila všechny známé hmotné částice, prostor by i tehdy nezůstal prázdnej.

Klasická teorie pokládá vakuum za prázdnej prostor bez hmotných částic. Je však nutné přihlédnout k faktu, že existují teorie a experimenty, jež připouštějí, že vakuum není prázdnej, místo toho je plné aktivity a co je ještě důležitější, lze tuto aktivitu využít v našem reálném světě.

4.2 Heisenbergův princip neurčitosti

Velmi důležitým zákonem určujícím pravidla v kvantovém světě je Heisenbergův princip neurčitosti. Ten říká, že pro současné měření polohy x a hybnosti částice p , nemůže být součin neurčitostí v určení polohy Δx a hybnosti Δp částice menší než redukovaná Planckova konstanta \hbar . Pro tuto konstantu platí $\hbar = h/2\pi = 1,054 \cdot 10^{-34}$ Js. Důsledkem Heisenbergova principu je, že se na mikroskopické úrovni může narušovat zákon zachování energie, a to takovým způsobem, že součin velikosti tohoto narušení a doby, po kterou trvá, je menší než redukovaná Planckova konstanta. V takovém případě nelze toto porušení pozorovat.

Heisenbergův princip neurčitosti pro současné měření polohy a hybnosti částice má tvar

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq \hbar \quad (5)$$

Heisenbergův princip neurčitosti pro současné měření času a energie částice má tvar

$$\Delta t \cdot \Delta E \geq \hbar \quad (6)$$

Platnost rovnice (6) vede tomu, že ve vakuu mohou existovat velice rychlé fluktuace energie, které vznikají jako v důsledku vzniku tzv. virtuálních částic a jejich antičástic, které velice rychle vznikají a zanikají vlivem vzájemné anihilace. A to v čase daném Heisenbergovým principem neurčitosti. [9]

4.3 Virtuální částice

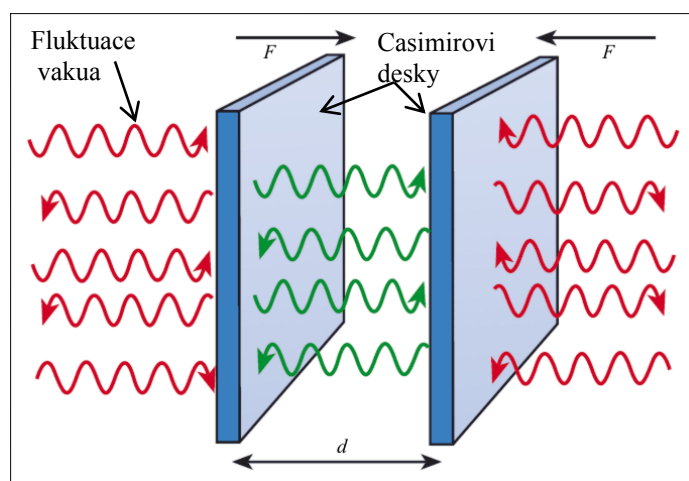
Jedná se o částici, která není přímo pozorovatelná, je zavedena z důvodu existence řady pozorovaných jevů. Virtuální částice může existovat díky Heisenbergovu principu neurčitosti a v časovém okamžiku daném tímto zákonem narušuje zákon o zachování energie. U reálné částice, jejíž existence nenarušuje zákon zachování energie, je splněn relativistický vztah mezi celkovou energií částice E , její hybností p a klidovou energií. U virtuální částice tento vztah mezi uvedenými fyzikálními veličinami neplatí. Virtuální částice tak může mít třeba velmi velkou hybnost a jen velmi malou energii. Existence virtuální částice je omezena na velice krátkou dobu. Při neustálém vzniku a zániku těchto částic vznikají ve vakuu vysokofrekvenční fluktuace elektromagnetických polí různých vlnových délek. [9]

4.4 Casimirův jev

V roce 1958 holandský fyzik M. J. Spurnaay předpověděl existenci sil mezi dvěma kovovými deskami, jejichž příčinou nebylo tepelné záření. Byl zaveden pojem zero point energy (energie nulového bodu) označující elektromagnetickou energii vyskytující se ve vakuu při absolutní nulové teplotě. [18]

Důkazem existence této energie je údajně fakt, že helium zůstává i při teplotách mezi -272°C až 273°C stále v kapalném skupenství a nedojde k jeho přeměně na skupenství pevné. [17]

Způsob jakým by bylo možné projevy virtuálních částic, experimentálně změřit, navrhl v roce 1948 holandský fyzik Hendrik Casimir. Casimir uvažoval o dvou paralelních elektrodách (zrcadlech) umístěných ve vakuu za teploty blízké absolutní nule. Vně těchto zrcadel vakuové fluktuace elektromagnetických polí dosahují širokého spektra energií, ovšem v souladu s Heisenbergovými relacemi neurčitosti. Jiná situace nastává mezi elektrodami, které tvoří rezonátor. Zde mohou vznikat pouze fluktuace určitých vlnových délek – módů rezonátoru. Ostatní vlnové délky jsou vněm potlačeny. Tato nerovnováha fluktuací vně elektrod a mezi nimi způsobuje tlakovou sílu, která přitahuje elektrody k sobě. Jev se nazývá Casimirův jev (efekt) a je makroskopickým projevem kvantových jevů stejně jako například supravodivost nebo supratekutost. [10]



Obr. 4.4 Demonstrace Casimirova jevu. Dvě kovové desky tvoří rezonátor pouze pro některé vlnové délky, důsledkem je působení přitažlivé síly mezi těmito deskami. [11]

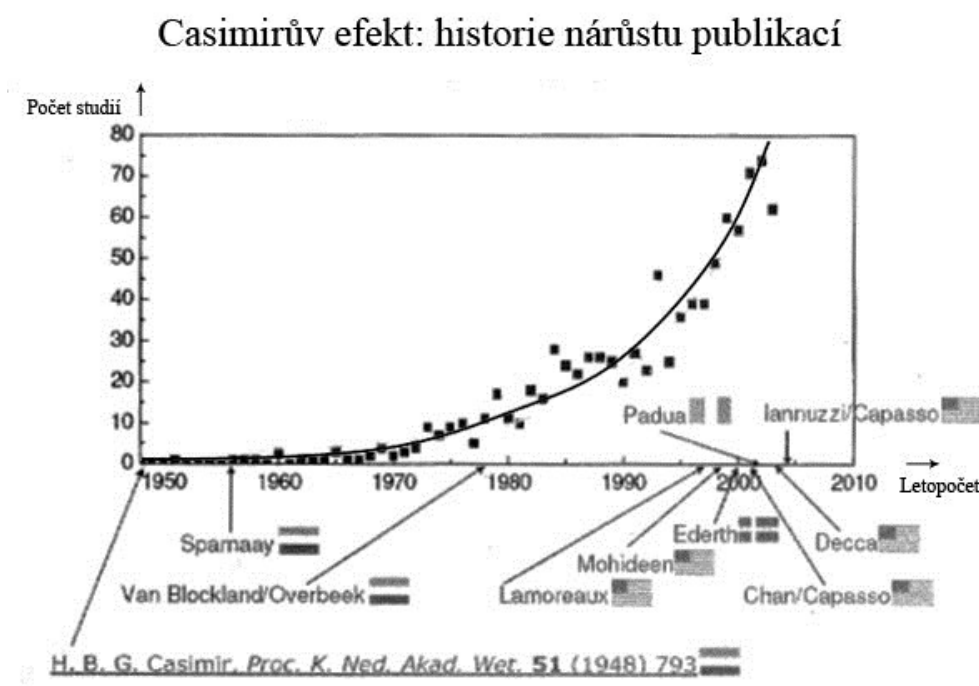
4.4.1 Casimirova síla

Casimirův efekt se projevuje jako Casimirova síla. Casimirovu sílu mezi vodivými elektrodami způsobuje nerovnováha mezi kvantovými fluktuacemi elektromagnetických polí ve vakuu vně elektrod a mezi nimi. [10]

Casimirovu sílu lze vypočítat na základě vztahu (7) uvedeného v literatuře[17]

$$F_{Cas} = -\frac{\pi^2}{240} \cdot \frac{\hbar c}{L^4} \quad (7)$$

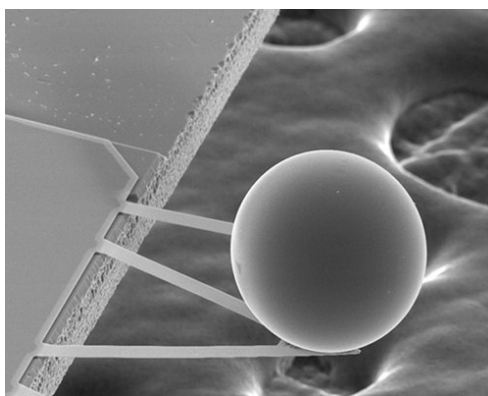
Na obr.4.5 je graf Prof. Dr. Davida Iannuzziho, který zobrazuje přibližně exponenciální nárůst publikací pojednávající o Casimirově vevu. Tím dokazuje značný zájem o tento fenomén.



Obr. 4.5 Nárůst publikací týkajících se Casimirova jevu [8]

4.4.2 Aparatura pro měření Casimirova jevu

Laboratorní měření Casimirova jevu v Kalifornské univerzitě v Riverside, bylo provedeno na miniaturní aparatuře pro měření kvantově mechanických efektů „prázdného prostoru“. Na Obr. 4.6 je kulička o průměru 0,1 mm, zobrazená skrze elektronový mikroskop. Kulička je umístěna pod hladkou destičkou (destička není na obrázku). Díky kvantově mechanickému Casimirovu efektu se kulička k destičce přitahuje. Změna pozice kuličky je měřena mikroskopem pro měření atomárních sil.



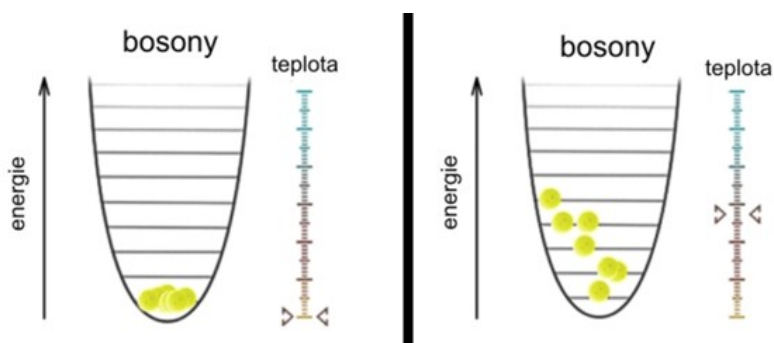
Obr. 4.6 Mikroskopická aparatura pro měření Casimirova jevu

4.4.3 Tepelný Casimirův jev

Při konečné teplotě vstupují do hry tepelné fluktuace elektromagnetického pole, a přispívají tak k silovému působení mezi elektrodami. Tepelné fluktuace jsou způsobeny chaotickým pohybem volných elektronů v materiálu elektrod. Paralelní elektrody opět představují rezonátor, ve kterém je možné vybudit pouze určité módy. Každý mód představuje stav s přesně určenou energií. Tyto stavy jsou obsazovány fotony, které reprezentují fluktuace elektromagnetického pole. Obsazení těchto hladin popisuje Boseho-Einsteinovo rozdělení. [10]

Boseho-Einsteinovo rozdělení popisuje ve statistické fyzice systémy složené z bosonů, tedy částic se symetrickou vlnovou funkcí a celočíselným spinem. Bose-Einsteinovým rozdělením se řídí například fotony, je z něj tedy možné odvodit například Planckův vyzařovací zákon. [12]

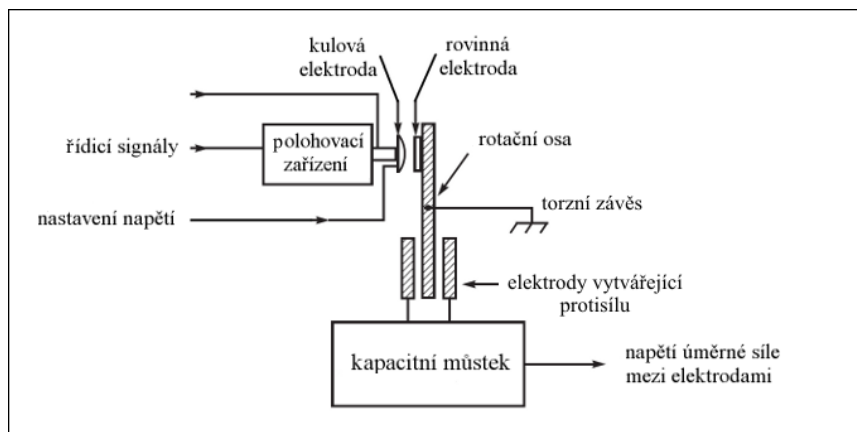
Při nulové teplotě všechny fotony obsadí pouze nejnížší energetickou hladinu, jak je vidět na Obr. 4.7. S rostoucí teplotou postupně dochází k obsazování i dalších, vyšších energetických hladin. Mezi zrcadly vzniká další přitažlivá síla, která ovšem závisí na teplotě. Jedná se tedy o tepelný Casimirův jev.



Obr. 4.7 Vlevo zaujímají bosony při teplotách blízkých absolutní nule jediný stav s nejnížší energií. Se vzrůstající teplotou bosony (vpravo) postupně obsazují stavy s vyšší energií. [13]

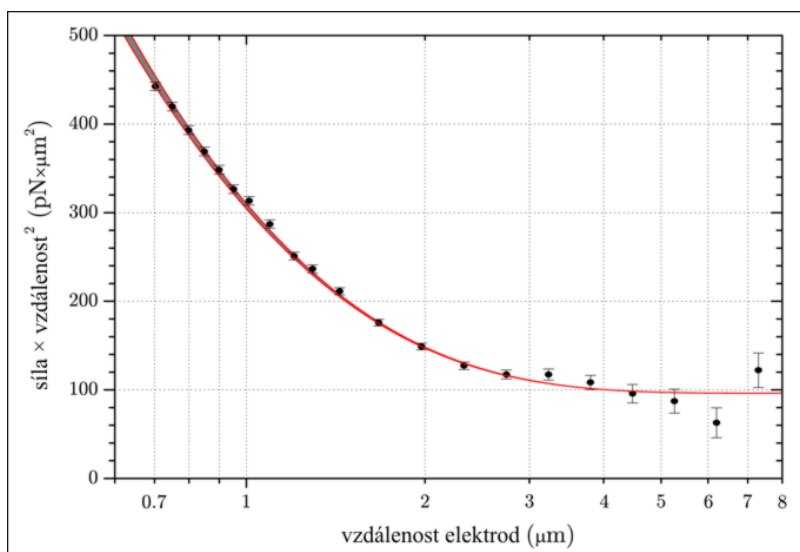
Přestože tepelný Casimirův jev byl teoreticky předpovězen Jevgenijem Lifšicem v roce 1955, dočkal se svého objevu až v roce 2010. Tento úkol se podařilo zvládnout skupině vědců na americké Yaleově univerzitě. Tepelné fluktuace elektromagnetického pole byly opět měřeny prostřednictvím přitažlivé síly mezi dvěma elektrodami. Připravit dokonale rovinné paralelní plochy je poměrně obtížné, a proto

byl experiment prováděn s jednou rovinnou elektrodou a druhou elektrodou ve tvaru kulové plochy. Obě elektrody byly vyrobeny ze zlata s přesností 10 nm (kulová elektroda) a 1 nm (rovinná elektroda). Síla mezi elektrodami byla měřena pomocí torzního kyvadla, kde torzní síla wolframového drátku o průměru 25 μm byla vyrovnávána přitažlivou silou mezi elektrodami. Kapacitní polohový senzor snímal výchylku torzního kyvadla. Celý experiment probíhal při teplotě 300 K. [14]



Obr. 4.8 Schéma zařízení pro měření tepelného Casimirova jevu (pohled shora) [14]

Naměřené výsledky byly porovnávány se dvěma teoretickými modely – plazmovým modelem a Drudeho modelem. Tyto modely popisují chování permitivity elektrod v závislosti na frekvenci. Naměřené výsledky ukazují shodu s Drudeho modelem při teplotě 300 K. Podle tohoto modelu tepelná přitažlivá síla roste lineárně s teplotou a klesá s druhou mocninou vzdálenosti. To znamená, že zatímco Casimirova síla převládá na velmi malých vzdálenostech, tepelná Casimirova síla dominuje na velkých vzdálenostech. Na obrázku níže je znázorněna přitažlivá síla násobená druhou mocninou vzdálenosti v závislosti na vzdálenosti mezi elektrodami. Podle Drudeho modelu bychom měli dostat konstantní závislost v místech, kde převládá síla způsobená tepelnými fluktuacemi. Z Obr. 4.9 je patrné, že od vzdálenosti přibližně 3 μm dále, dostáváme přibližně konstantní závislost. [14]



Obr. 4.9 Na vzdálenostech větších než 3 μm , dochází ke změně charakteru přitažlivé síly. Převládá zde síla způsobená tepelnými fluktuacemi, zatímco na menších vzdálenostech se více uplatňuje síla pocházející z kvantových fluktuací vakua. [14]

5 Magnetismus

5.1 Magnetické pole a jeho silové účinky

Fakt, že některé nerosty s obsahem železa a jeho oxidů, jeví jisté vzájemné silové působení, vedlo člověka k výzkumu hlubší podstaty tohoto fenoménu. Magnetismu známému již ze středověku začala být později věnována značná pozornost, především díky poznatku, že lze vnější magnetické pole vyvolat průchodem proudu nosičů elektrických nábojů elektrickými vodiči. Pokusy H. Ch. Oersteda s vodiči zapojenými k elektrickému zdroji vykazovali silové působení na magnetku kompasu, později díky A. M. Ampérovu pokusu, také silové působení mezi vodiči protékanými proudem. [15]

Mezi tělesy z feromagnetických látek se za jistých okolností projevuje vnější působení vnitřních atomárních sil do vnějšího prostředí, prostor v okolí tělesa i uvnitř něho je magneticky polarizován a magnetické předměty se navzájem přitahují či odpuzují v závislosti na směru vektoru jejich magnetizace. Ve vzdušném prostředí lze magnetickou propustnost definovat jako hodnotu přibližně rovnou permeabilitě vakua.

Po odhalení existence magnetismu došlo časem k prudkému nárůstu pokusů se snahou nalézt praktické využití tohoto jevu v lidském životě. Vznik elektrických strojů prudce zrychlil rozvoj většiny odvětví lidského bádání.

Magnetické pole a jeho silové účinky jsou přítomny při:

- a) Pohybu elektrických nábojů v obvodu
- b) Zmagnetování magnetik

Kvantitativní mírou silového působení magnetického pole je magnetická indukce B .

Magnetické pole o indukci 1 T působící na náboj jednoho coulombu, který se pohybuje rychlostí 1 m/s, silou 1 Newtonu, jestliže je směr rychlosti náboje a směru působící síly kolmý.

Sílu v elektromagnetickém poli působící na jednotkový zkušební náboj v pohybu, lze popsat Lorenzovým vztahem [15]

$$\mathbf{F} = q(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B}) \quad (8)$$

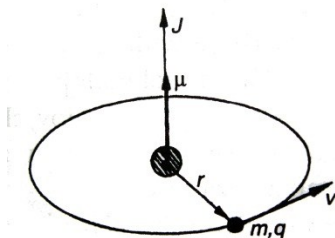
Ze vztahu je zřejmé že rychlost zkušební částice nemá vliv na silové účinky elektrického pole.

V poli čistě magnetickém, kdy je elektrické pole nulové, platí pro sílu vztah

$$\mathbf{F} = q(\mathbf{v} \times \mathbf{B}) \quad (9)$$

5.2 Magnetický moment, moment hybnosti a precese momentu hybnosti

Pohybuje-li se elektron po kružnici (obíhá-li jádro vlivem dostředivé síly), jsou si jeho magnetický moment μ a moment hybnosti \mathbf{J} úměrné. Velikost momentu hybnosti elektronu je rovna hmotnosti elektronu vynásobené jeho rychlostí a poloměrem dráhy, kterou opisuje (Obr. 5.1).



Obr. 5.1 Na kruhové dráze je magnetický moment $\mu(q/2m)$ -násobkem momentu hybnosti \mathbf{J} [16]

Jeho směr je kolmí na rovinu dráhy. Vztah (10) je ne relativistický, je však pro atomy dobrým přiblížením.

$$\mathbf{J} = m\mathbf{v}r \quad (10)$$

Magnetický moment tohoto pohybu, lze určit jako proud krát obsah plochy kruhu dle vztahu

$$\mu = I2\pi r \quad (11)$$

Proud se vypočítá jako náboj, který za jednotku času projde libovolným bodem dráhy, tj. náboj q krát frekvence kruhového pohybu. Frekvence je zase rychlost dělená délkou dráhy, takže platí

$$I = \frac{qv}{2\pi r} \quad (12)$$

Plocha má obsah πr^2 , magnetický moment je tedy možné vyjádřit vztahem

$$\mu = \frac{qvr}{2} \quad (13)$$

Magnetický moment μ a též moment hybnosti \mathbf{J} jsou kolmé na rovinu dráhy. Pro orbitální pohyb tedy platí.

$$\mu = \frac{q}{2m} \mathbf{J} \quad (14)$$

Pro orbitální pohyb elektronu platí

$$\mu = -\frac{q_e}{2m} \mathbf{J} \quad (15)$$

Magnetismus od orbitálního pohybu elektronu není jediný existující druh magnetismu. Elektron má i svou vlastní rotaci kolem osy. Důsledkem je **spinový moment hybnosti** elektronu neboli vlastní moment hybnosti. Pro spinový moment hybnosti se také používá označení **spin**. Z překladu z angličtiny jde rotace. Pojem spin byl zaveden v době, kdy se předpokládalo, že jde o rotaci, nicméně v makrosvětě nemá spin analogii a člověk je nucen použít idealizovanou představou rotace. [16]

Poměr μ a \mathbf{J} je dvakrát tak tak velký oproti orbitálnímu pohybu elektronu, proto je **spinový magnetický moment**

$$\mu = -\frac{q_e}{m} \mathbf{J} \quad (16)$$

Obecně je v každém atomu několik elektronů a tak je celkový moment hybnosti a celkový magnetický moment dán složením jejich orbitálních a spinových momentů hybnosti. V kvantové mechanice obecně platí, že směr magnetického momentu izolovaného atomu má opačný směr než moment hybnosti. [16]

Někdy je magnetický moment směsicí orbitálních a spinových příspěvků, jejichž vztah můžeme zapsat

$$\mu = -g \left(\frac{q_e}{m} \right) \mathbf{J} \quad (17)$$

Značka g je tzv. Landého faktor a určení jeho velikosti je předmětem kvantové mechaniky.

V případě atomových jader figurují navíc i spiny protonů a neutronů. Pro jádra obecně píšeme

$$\mu = g_j \left(\frac{q_e}{m_p} \right) \mathbf{J} \quad (18)$$

Precese pohyb atomových magnetů v magnetickém poli

Umístěním atomu do magnetického pole je magnetický moment ovlivňován momentem síly, která se jej snaží pootočit do směru pole. Atomový magnet je jako setrvačnick – má spinový moment hybnosti \mathbf{J} . Moment síly $\mathbf{M} = \mu \times \mathbf{B}$ způsobený magnetickým polem, proto nedokáže atomový magnet udržet v daném směru. Magnet proto bude vykonávat precesní pohyb podobný precesi mechanického setrvačnicku.[16]

Rotuje-li těleso okolo osy, zaznamenáme u něj jistou podobnost v chování s elementárním atomovým magnetem o momentu hybnosti \mathbf{J} .

Jevy zjevné při rotaci tělesa lze popsat následujícími tvrzeními:

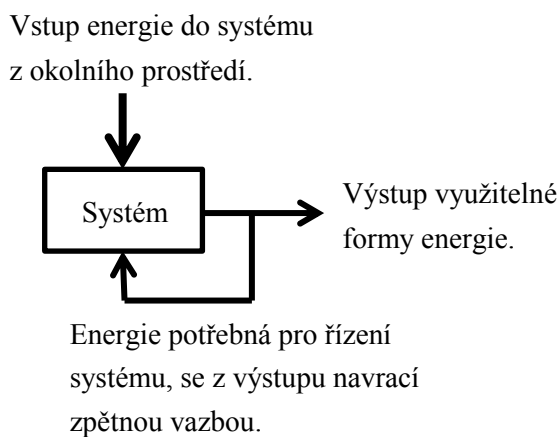
- Pokud na rotující těleso nepůsobí vnější síly, zachovává si osu svojí rotace. Nenulový moment síly působící na rotující těleso ovlivňuje osu jeho rotace tím více, čím má těleso menší moment hybnosti.
- Když nutíme rotující těleso změnit osu svojí rotace, chová se tak, že se snaží ztotožnit s osou vynucené rotace.

Precese subatomárních částic v magnetickém poli se s výhodou využívá v metodách magnetické jaderné a elektronové paramagnetické rezonance.

Nabízí se otázka, jestli je možné určitým způsobem, převést silové účinky precesního pohybu momentu hybnosti \mathbf{J} , na mechanický pohyb v nějakém elektrickém stroji. Projevy rezonančních jevů jsou u všech typů magnetických rezonancí však velice slabé a frekvence Larmorovy precese s jakou vektor magnetického momentu rotuje ve vnějším poli, je u elektronů, které jsou příčinou magnetismu u feromagnetik, až v řádech GHz/T. Tím pádem by musel mechanický systém v pracující v rezonanci s precesní frekvencí momentu hybnosti, kmitat či rotovat též v řádech GHz nebo v jistém poměru k první harmonické této frekvence.

6 Nekonvenční elektrické stroje

Podle autorů elektrickým motorů, jsou motory založené na jistých principech, schopny pracovat s účinností překračující 100%. Ve čtvrté kapitole hovořící o vakuu je popsán Casimirův jev, jako důsledek narušení symetrie prostorových fluktuací elektromagnetických polí vakua mezi dvěma kovovými deskami. Vezmeme-li v úvahu teorii o prostoru vyplněném vznikajícími a zanikajícími virtuálními částicemi, nabízí se otázka. Je možné zkonstruovat systém, který by energii projevující se jako fluktuace elektromagnetických polí vakua, proměnil na užitečnou elektrickou či mechanickou energii v takové měřítku, aby byl schopný napájet elektrické obvody svého řízení, popř. dodávat výkon do vnější zátěže? Ze znalosti termodynamických zákonů jasně vyplývá možnost využití teplotního rozdílu dvou prostředí k získání užitečné energie. Tepelná čerpadla jsou toho důkazem. Vzhledem k existenci elektromagnetické energie vakua i při absolutní nule, je možné tuto energii považovat za vstupní energii do systému zobrazeného blokově na Obr. 6.1.



Obr. 6.1 Blokové schéma systému napájeného energií odčerpávanou z okolního prostředí

Energie vstupuje do systému z vnějšího prostředí a slouží pro napájení vnější zátěže i systému samotného.

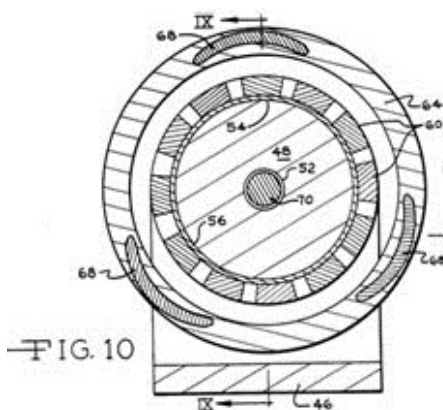
6.1 Johnsonův motor

V roce 1973 pět let po podání přihlášky byl Howardu Johnsonovi udělen patent US 4,151,431 na motor s permanentními magnety. V roce 1995 pak patent US 5,402,021 popisující magnetický pohonný systém založený na obdobném principu. Oba tyto systémy údajně využívají ke konání práce pouze síly permanentních magnetů. Ačkoli dnešní věda zavrhuje využití vnějších projevů subatomárního pohybu částic hmoty permanentních magnetů ke konání nepřetržité práce v systému.

Johnson údajně připouští, že přesně neví, odkud se energie, kterou čerpá, bere. Ale domnívá se, že může mít souvislost s rotací elektronů, možná dokonce souvisí s "dosud nepojmenovanou částicí."

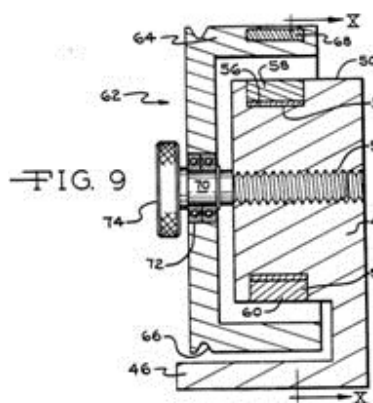
V roce 1980 vyšel v dnes již zaniklém časopisu Science and Mechanics článek o Johnsonově motoru popisující vzájemné interakce mezi magnety rotoru a statoru.

Konstrukční uspořádání Johnsonova motoru

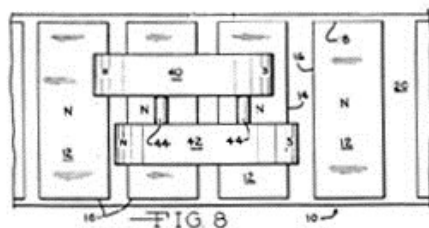


Obr. 6.2 Čelní pohled do Johnsonova motoru. Stator má po obvodu rozmístěny tři obloukovité magnety. Rotorové magnety jsou vzájemně odděleny vzduchovými mezerami [16]

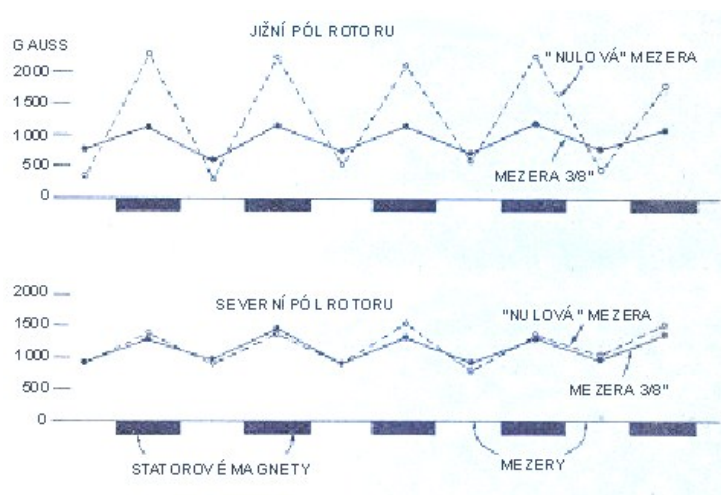
Z Předního pohledu do motoru na Obr. 6.2 jsou vidět tři obloukovité permanentní magnety statoru pravidelně rozmístěné kolem rotoru.



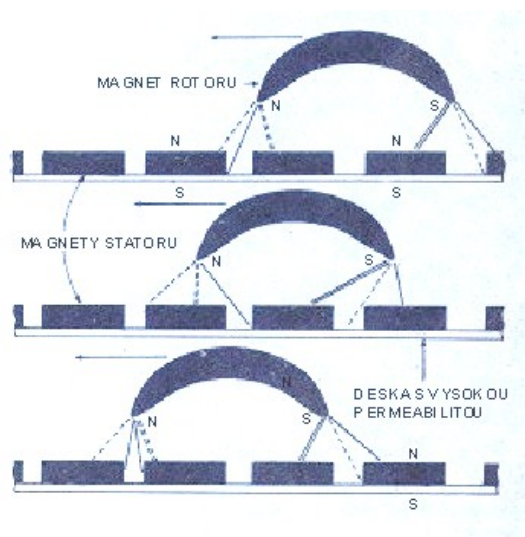
Obr. 6.3 Z bočního pohledu do motoru je patrná šroubovitá hřídel, která slouží k zabrzdění stroje [16]



Obr. 6.4 Horní pohled na dva obloukovité statorové magnety navzájem posunuté a překrývající magnety rotoru [16]



Obr. 6.5 Průběhy změny indukce během změny polohy jižního a severního pólu magnetu statoru vůči rotorovým magnetům



Obr. 6.6 Naznačení pohybu obloukových magnetů rotoru nad statorovými magnety

Popis principu

Obr. 6.6 ukazuje některé základní vztahy. Plné čáry představují přitažlivé síly, přerušované čáry představují odpuzování a dvojité čáry v obou případech znázorňují dominantní síly.

Na Obr. 6.6 je obloukově zakřivený permanentní magnet ve třech po sobě následujících polohách, nad pevnými statorovými magnety. Obr. 6.6 poskytuje alespoň velmi zjednodušený pohled do teorie

pohonu pomocí permanentních magnetů. Johnson říká, že zakřivené magnety s ostrými konci jsou důležité, protože koncentrují magnetickou energii mnohem účinněji než magnety s tupými konci. Tyto obloukovité magnety jsou o něco delší, než je délka dvou magnetů statoru včetně mezery mezi nimi. V Johnsonově konstrukci jsou dlouhé $3\frac{1}{8}$ palce.

Všechny statorové magnety mají severní pól nahoře a spočívají na podložce vyrobené z materiálu s vysokou permeabilitou, která pomáhá koncentrovat silová pole. Optimální mezera mezi konci rotorových magnetů a statorem je kolem $\frac{3}{8}$ palce.

Když se severní pól magnetu rotoru nachází nad statorovým magnetem, je jím odpuzován, a je ke statoru přitahován, když prochází nad mezerou mezi statorovými magnety. Přesně opačné síly působí u jižního pólu rotorového magnetu. Je přitahován, když prochází nad statorovým magnetem a je odpuzován, když se nachází nad mezerou.

Přední pól N rotoru je odpuzován severními póly dvou přilehlých magnetů. Ale v zobrazené poloze magnetu rotoru tyto dvě odpuzivé síly (které zřejmě působí proti sobě) nejsou totožné; větší z obou sil (dvojitá přerušovaná čára) překonává druhou sílu a táhne rotor doleva. Tento pohyb vlevo je zrychlen přitažlivou silou mezi severním pólem rotoru a jižním pólem v mezeře mezi statorovými magnety.

Současně na druhém konci (S) rotorového magnetu. Délka tohoto magnetu je cca $3\frac{1}{8}$ palce a je zvolena s ohledem na velikost páru statorových magnetů a mezery mezi nimi, aby přitažlivé a odpuzivé síly táhly magnety rotoru doleva. V tomto případě je pól S přitahován severními póly přilehlých statorových magnetů, ale z důvodu rozměrů rotorového magnetu je rotor silněji tážen doleva (dvojitá plná čára). Také zde je s výhodou využito silové působení mezi koncem rotorového magnetu a mezerou mezi magnety statoru. V tomto případě mají oba póly stejnou polaritu (S), proto se vzájemně odpuzují.

Je nutné dodržet správnou délku magnetů rotoru. Jestliže jsou buď příliš dlouhé, nebo příliš krátké, mohou dosáhnout nežádoucí rovnováhy, která znamená konec pohybu. Cílem je optimalizovat všechny síly tak, aby bylo dosaženo maximální nerovnováhy, ale vždy stejným směrem. Když se rotor otočí o 180 stupňů a dostane se na opačný konec dráhy, bude se chovat stejným způsobem až na to, že se, v tomto příkladu, bude pohybovat zleva doprava. Také musíme poznamenat, že jakmile je rotor v pohybu, má moment, který pomůže dostat rotorový magnet do sféry vlivu dalšího páru magnetů statoru, kde získá další moment. [25]

6.2 Adamsův motor generátor

Podle informačního zdroje [26], byl vynález Roberta Adamse více než 20 let držen v tajnosti. Jeho autorovi bylo vyhrožováno smrtí v případě, že bude šířit informace týkající se principů na nichž jeho motorgenerátor pracuje. Informace byly po letech zveřejněny internetovém magazínu Nexus.

Adams ke svému stroji vytvořil publikaci: The Adams pulsed motor generator manual, ve které uvádí následující obrázkové ilustrace. Autor v něm též předkládá grafy naměřených průběhů napětí pro různé režimy stroje.

Robert Adams tvrdí, "Náš vesmír je moře volné, čisté energie. A čeká jen na to, abychom ji začali využívat."

Vlastnosti a výhody Adamsova motor generátoru uvedené Robertem Adamsem

- 1) Překonává zpětnou elektromotorickou sílu, která je problémem všech konvenčních strojů.
- 2) Střídavě zapřahuje ZES, tedy zanikající magnetické pole, čímž zvyšuje moment a snižuje příkon.
- 3) V režimu motor/generátoru nevyžaduje k výrobě elektrického výstupního výkonu oddělený motor.
- 4) Pro běh stroje a výrobu výstupního výkonu využívá jediný rotor.
- 5) Všechny póly rotoru mají stejnou polaritu.
- 6) Statorové hnací vinutí a póly jsou menších rozměrů.
- 7) Velikost vzduchové mezery není kritická.
- 8) Nevyžaduje chladicí ventilátor.
- 9) Stroj nevyžaduje konstantní vstupní proud.
- 10) Návrh stroje je následující:
 - a) Energie je vede zpět do bateriového zdroje
 - b) Magnetický zpětný tah je prakticky nulový
 - c) Teplota při plném zatížení je poloviční ve srovnání s jakýmkoliv konvenčním strojem
 - d) S ohledem na způsob mechanického spínání, který zajišťuje zužující se hvězda kontaktního disku, je možné měnit střidu impulzů.
- 11) V režimu vysoké účinnosti stroj čerpá energii z prostoru.
- 12) Čím nižší rychlostí se otáčí, tím dosahuje vyšší účinnosti a krouticího momentu, na rozdíl od konvenčních strojů.
- 13) V rezonančním režimu nejsou přítomny jalové ztráty a stroj vykazuje konstantní výkon a moment.
- 14) Jelikož se směr energie ze zdroje nemění, nejsou přítomny ztráty vířivými proudy a hysterezí.
- 15) Stroj se ve všech pracovních režimech sám chrání před některými nepříznivými situacemi, které v jiných případech vyžadují doplňující zařízení.
- 16) Vysoké otáčky nejsou nutné, čímž odpadají problémy s nimi spojené.
- 17) Stroj je možné elektricky zatížit a počítat s následným nárůstem výstupní energie od 50 % přes 100 % a to bez přetížení nebo nárůstu teploty nad normální pracovní teplotu.

18) Stroj je sám o sobě obdivuhodně jednoduchý a nevyžaduje drahé obvody pro řízení rychlosti. [26]

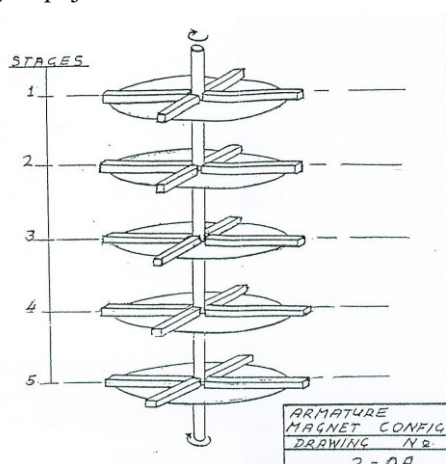
Popis základní konstrukce

Adamsův motor-generátor je elektrický stroj s permanentními magnety radiálně uloženými v rotoru.

Stroj je údajně možné zkonstruovat v různých konfiguracích podle toho, zda požadujeme výstupní výkon spíše elektrický nebo mechanický.

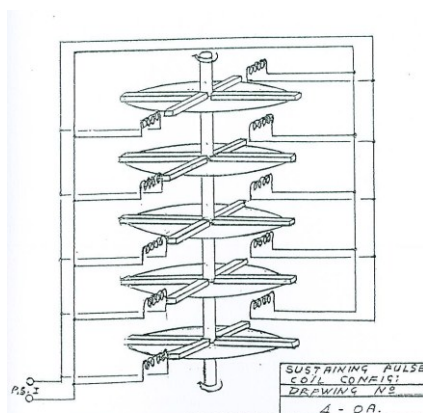
Základní konfigurace stroje určená pro výstup elektrického výkonu ze stroje, obsahuje tři druhy satorových magnetických pólů, vhodně rozmístěných kolem rotoru s permanentními magnety.

1. **Permanentní magnety rotoru** jsou všechny polarizovány ve stejném směru. Tok magnetické indukce všech vystupuje buď ven nebo dovnitř směrem ke hřídeli.



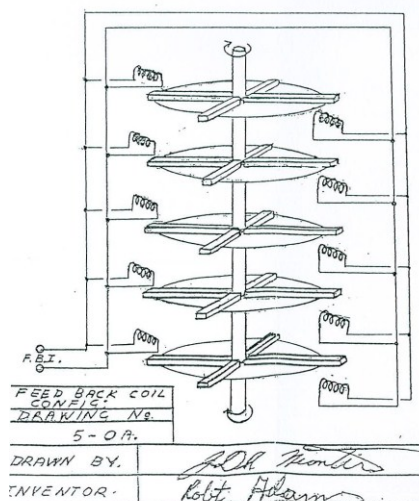
Obr. 6.7 Magnety jsou pro zvýšení výkonu stroje uloženy v několika rotorových sekcích

2. **Řídící póly** jsou napájeny pulzně v závislosti na poloze rotoru vůči statoru a to skrze mechanický komutátor. Cívky jsou navinuty na jádra, ze kterých vystupuje magnetický tok v opačném směru oproti toku permanentních magnetů v rotoru. Rotor se pohybuje, jelikož je odpuzován těmito silovými účinky.



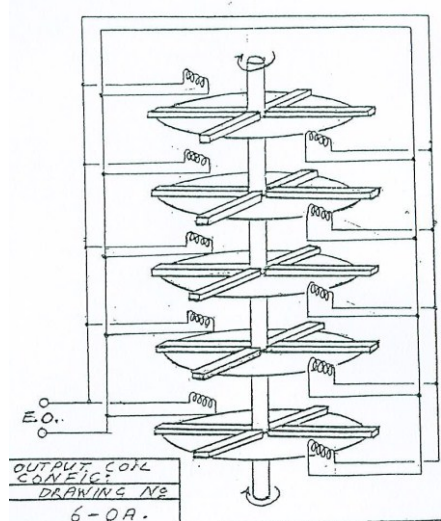
Obr. 6.8 Pulzně buzené cívky

3. **Zpětnovazební póly** jsou navinuty na magnetických jádrech a jsou napájeny elektrickou energií, která se zpětně indukuje do elektrického obvodu řídicích cívek v důsledku prudkého přerušení dodávky proudu. Magnetické pole v prostoru vzduchové mezery a rozptylových drahách se snaží zániku proudu zabránit, čímž vzniká prudký energetický skok.



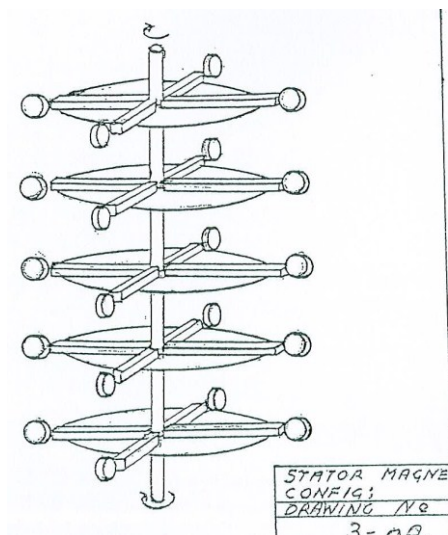
Obr. 6.9 Zpětnovazební cívky

4. **Generátorické póly** generují proud do připojené zátěže



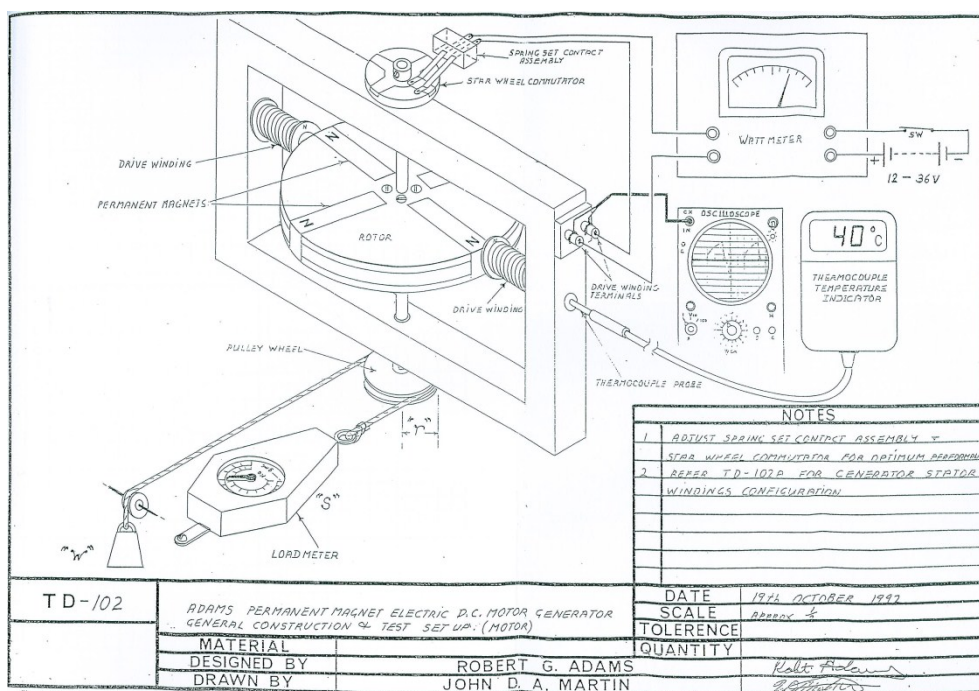
Obr. 6.10 Zpětnovazební cívky

5. **Permanentní póly statoru** jsou tvořeny feritovými magnety, rozmístěny po obvodu rotoru podle konfigurace na Obr.6.11a mají za účel zvýšit mechanický moment rotoru.

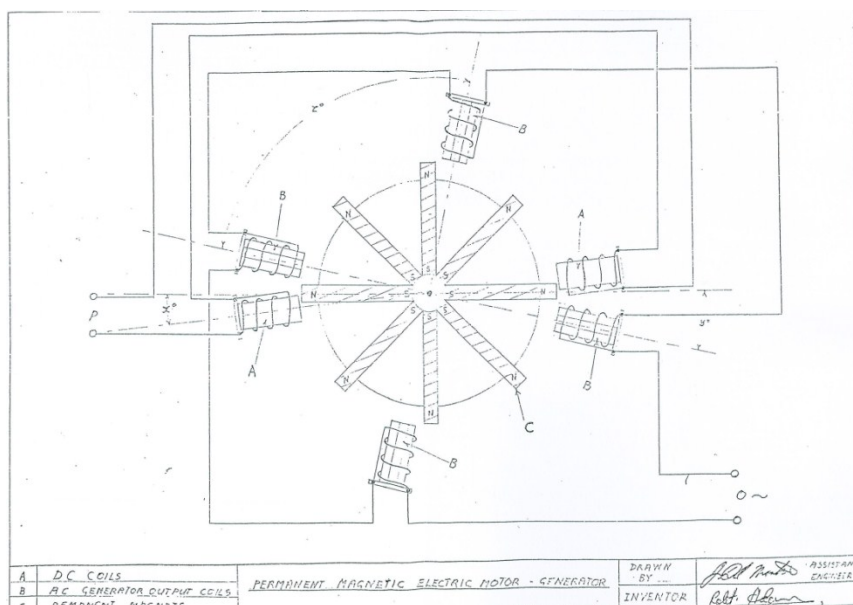


Obr. 6.11 Rozmístění permanentních magnetů po obvodu statoru

Na Obr. 6.12 je princip spínání proudu do cívek statoru řešený prostřednictvím mechanického komutátoru ve tvaru čtyřcípé hvězdy. Při otáčení dochází v jistých polohách ke spojení kontaktů dosedajících na komutátor a proud tekoucí cívkami v nich vybudí magnetický indukční tok, který svými účinky odpuzuje permanentní magnety v rotoru. Na obrázku je naznačen princip motoru a způsob měření oteplení jádra při dané mechanické zátěži. Do jádra je vyvrtán otvor, do něž je zasunuta teplotní sonda. Oteplení jádra by nemělo překročit 40 °C.

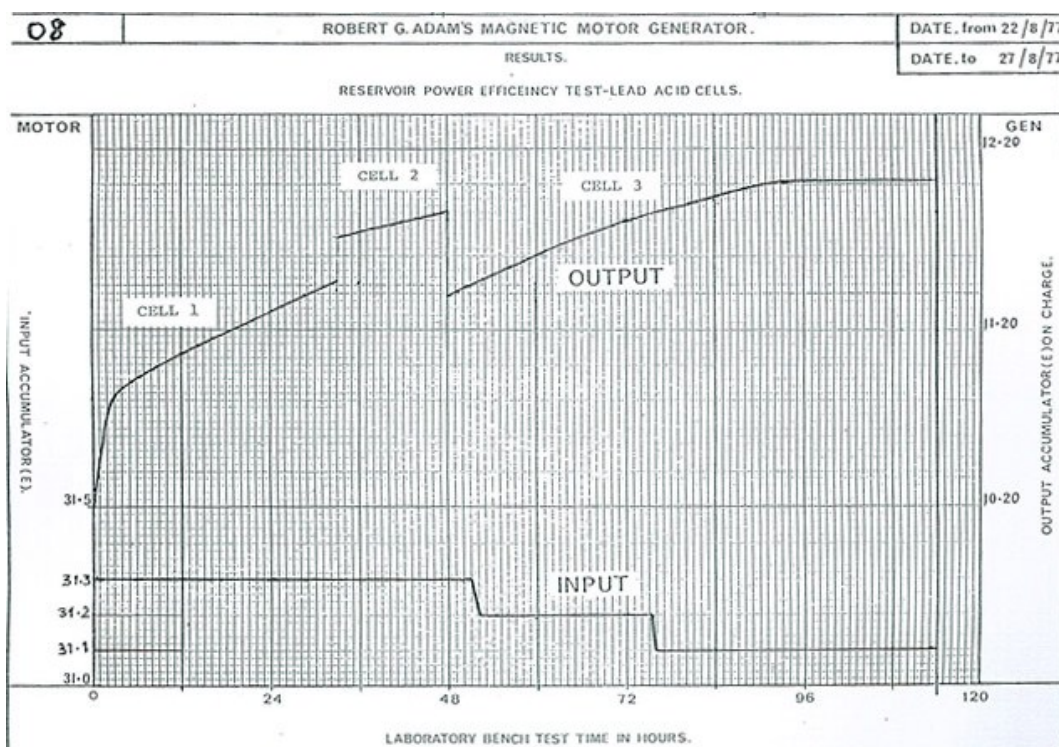


Obr. 6.12 Základní konstrukce Adamsova motoru sloužící pro demonstraci nastavení vhodné velikosti proudu tekoucího do vinutí cívek, při požadované mechanické zátěži



Obr. 6.13 Výkres Adamsova motor generátoru s osmi permanentními magnety v rotoru, stejnosměrnými pulzními cívkami a generátorovými cívkami navinutými na odlišných magnetických jádrech.

Robert Adams ve své publikaci uvádí na Obr. 6.14, zaznamenaný průběhy hodnot napětí na bateriích postupně připojovaných na elektrický výstup stroje. Přičemž hodnota napětí na vstupní napájecí baterii se mění jen nepatrně. Na základě těchto dat uvedených v Tab. 6.1 Adams stanovuje účinnost motor generátoru.



Obr. 6.14 Baterie na výstupu jsou postupně dobíjeny, přičemž velikost napětí na vstupní baterii se snižuje jen nepatrně

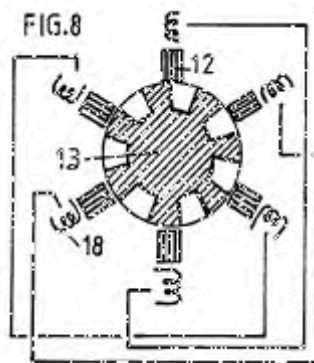
Následující tabulka shrnuje výsledky naměřené v grafu na Obr. 6.14

Tab. 6.1 Souhrn výsledků naměřených hodnot napětí na výstupních bateriích

Baterie č. (výstup)	Počáteční napětí baterie [V]	Doba běhu stroje [h]	Konečné napětí baterie [V]	Nárůst napětí baterie oproti počáteční hodnotě 10,2 V [V]	Účinnost [%]
1	10,2	33	11,42	1,22	610
2	11,72	15	11,84	1,62	810
3	11,4	66	12,01	1,81	905

Dokonalejší konstrukce Adamsova motor generátoru

Konstrukce zde popisovaná je realizována jako model pro měření účinnosti tohoto motoru, avšak s několika podstatnými konstrukčními rozdíly, o nichž se zmiňuji při popisu realizovaného stroje. Rotor na Obr. 6.15 má 7 vyniklých pólů rotoru a 8 statorových jader. Je možné použít i 6 jader ve statoru při použití stejného rotoru. Tím však dojde ke snížení účinnosti stroje. Počet rotorových a statorových pólů by neměl být v celočíselném poměru.



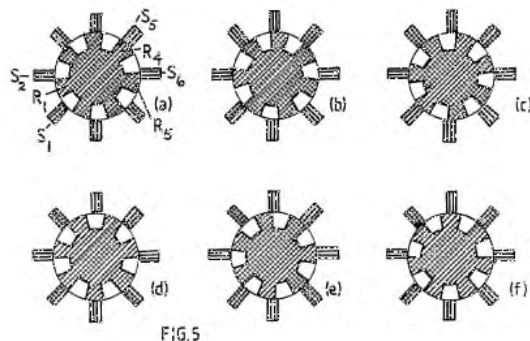
Obr. 6.15 Konfigurace se 6 póly statoru a 7 póly rotoru. Magnetizační vinutí protějších pólů statoru jsou spojena do série

Popis principu činnosti během otáčení rotou:

Na Obr. 6.16 (a) je pól rotoru R_1 přesně mezi statorovými póly S_1 a S_2 a představme si, že směřuje k S_2 a je jím přitahován až do chvíle, kdy je v pozici na obr (c). Nyní je zarovnan s jádrem statoru jehož vinutím začne protékat proud, který má takovou polaritu, aby došlo k odpuzování rotorového pólu ze zarovnané pozice. Tím pádem je vlivem silové interakce magnetických polů rotoru urychlovám a proud teče do statorového vinutí až do chvíle kdy je v pozici na obr. (e). Nyní je protější statorové jádro zarovnané s rotorovým pólem.

Podívejme se co se během toho děje na protější straně rotoru.

Rotorový pól R_4 na obr. (a) je právě zarovnán se statorovým jádrem S_5 . Tudiž je do vinutí tohoto jádra S_5 přiveden proud jehož účinky jsou i v tomto případě vyvolají odpuzování pólu R_4 . Proud vinutím jádra S_5 protéká do chvíle na obr.(c), kdy dojde k demagnetizaci statorového jádra S_2 .



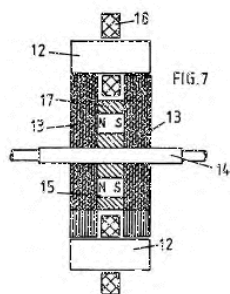
Obr. 6.17 Vzájemné polohy rotoru vůči statorovým pólům pro popis principu

Rotor je roztáčen těmito silovými příspěvky:

- Rotorový pól je přitahován ke statorovým magnetickým jádrům vlivem projevu magnetických sil permanentních magnetů prostupujících vzduchovou mezeru a uzavírajících se přes jádra statoru.
- Rotor je po zarovnání vyniklého pólu rotoru se statorovým dále roztáčen vlivem odpudivých sil mezi póly rotoru a řídícími póly statoru. Vinutí řídících pólů je napájeno elektrickými impulzy v závislosti na poloze rotoru vůči statoru. Intenzita magnetického pole ve vzduchové mezeře je nejvyšší při zarovnání pólů statoru a rotoru.

Na Obr. je pohled do vnitřní struktury magnetického obvodu popisovaného stroje.

- 12 podélné magnetické póly statoru s vysokou permeabilitou
- 13 rotorové sekce s vyniklými póly
- 14 hřídel
- 15 permanentní magnety uložené ve středovém pouzdru
- 16 otvor pro permanentní magnety
- 17 Disk sloužící jako pouzdro magnetů

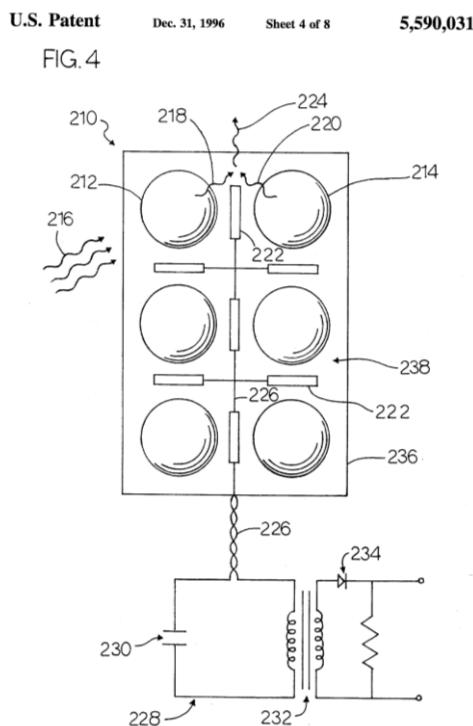


Obr. 6.18 Pohled na do struktury rotoru

Dalšími motory, které údajně pracují s vysokou jsou Bediniho motor, Takahasiho motor a Kawaiův motor.

6.3 Systém pro přeměnu energie elektromagnetického záření na elektrickou energii

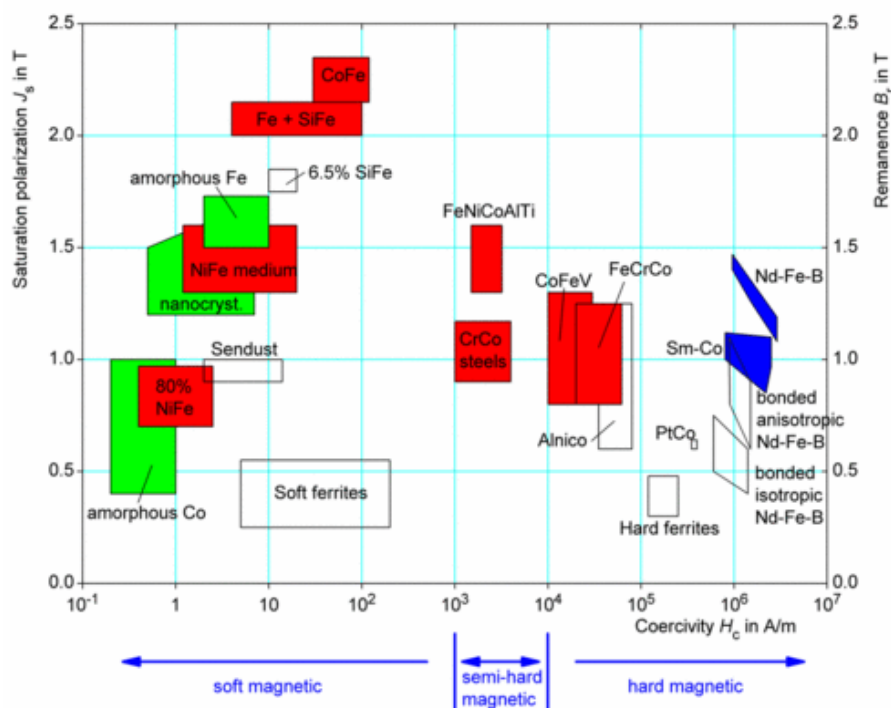
Americký patent č. 5,590,031 podaný 24. července 1994 Franklinem B. Meadem a Jackem Nachamkinem, popisuje zařízení přeměňující vysokofrekvenční elektromagnetickou energii vakuových fluktuací, vznikajících jako projev virtuálních částic, též označovanou pojmem „zero point energy“, na užitečnou elektrickou energii. Pojem zero point energy neboli energie nulového bodu byl zaveden vzhledem k faktu, že i při teplotě absolutní nule ($0\text{ K} = -273,15\text{ °C}$) vakuum obsahuje energii fluktuací elektromagnetický polí, jako důsledek projevů vznikajících a zanikajících virtuálních částic. Na Obr. 6.19 je znázorněn princip zařízení. Číslo 216 symbolizuje vysokofrekvenční elektromagnetické záření. Pomocí litografické technologie jsou vytvořeny dielektrické struktury (212) a (214) tvaru koule, polokoule či disku. Tyto struktury jsou velice malé a jejich velikost musí být v přímém poměru k vlnové délce elektromagnetického záření. Struktury jsou připevněny na základovém substrátu (236) a rozloženy do pole (238). Tyto struktury se vlivem působení elektromagnetického záření pohybují s mnohem menší frekvencí, než jakou má elektromagnetické záření, které jejich pohyb vyvolalo. Následkem pohybu se v anténě (222) indukuje elektrická energie o využitelné frekvenci. Jednotlivé antény mohou mít tvar smyčky nebo mohou být dipólové. Indukovaný proud je následně veden vodiči (226) nebo vlnovodem do primárního obvodu (228) transformátoru (232). Kondenzátor (230) slouží pro vyladění rezonančního obvodu. V sekundárním obvodu je střídavý proud usměrněn diodou (234). [17]



Obr. 6.19 Schéma zařízení pro přeměnu vysokofrekvenční elektromagnetické energie na využitelnou formu elektrické energie [14]

7 Feromagnetické materiály

Tvar hysterezní smyčky magnetického materiálu závisí na chemickém složení feromagnetika a na jeho tepelném zpracování. Z analogie s mechanickou tvrdostí rozlišujeme magneticky měkká feromagnetika, která dobře vedou magnetický tok a tvrdá feromagnetika, z nichž se vyrábí permanentní magnety. Na Obr.7.1 je názorné rozdělení magneticky měkkých, polotvrdých a tvrdých materiálů.



Obr. 7.1 Rozdělení magnetických materiálů na měkké, polotvrde a tvrdé

7.1 Magneticky měkká feromagnetika

Pro vedené magnetického toku v magnetickém obvodu motoru je využito měkkých feromagnetik, jež se vyznačují strmou magnetizační křivkou a úzkou hysterezní smyčkou. Mají vysokou počáteční a maximální permeabilitu a malou koercivitu $H_c < 10^3$ A/m. Často lze hysterezi zanedbat a je možné uvažovat pouze s magnetizační křivkou.¹

Na trhu s magnetickými materiály figuruje řada výrobců a distributorů. Následující z nich, jsem oslovil s prosbou o poskytnutí vzorků magnetických jader pro měření magnetických vlastností.

¹ aplik

7.1.1 Výrobci měkkých feromagnetických materiálů

a) Firma Therma FM

Firma Therma FM vyrábí magnetické obvody z anizotropních plechů a nabízí i izotropní dynamoplechy. Materiály pro výrobu jader firma odebírá od společnosti ThyssenKrupp.

Jádra pro jednofázové transformátory jsem použil jako statorové jádra realizovaného motoru.

Při výrobě navijeno na obdélníkové kopyto o rozměrech odpovídajících požadované velikosti okna pro primární a sekundární vinutí. Jádro je po navinutí z transformátorového plechu rozříznuto na dvě poloviny, jedna z nich je na Obr. Xx. Po rozříznutí jádra je možné nasunout vinutí.



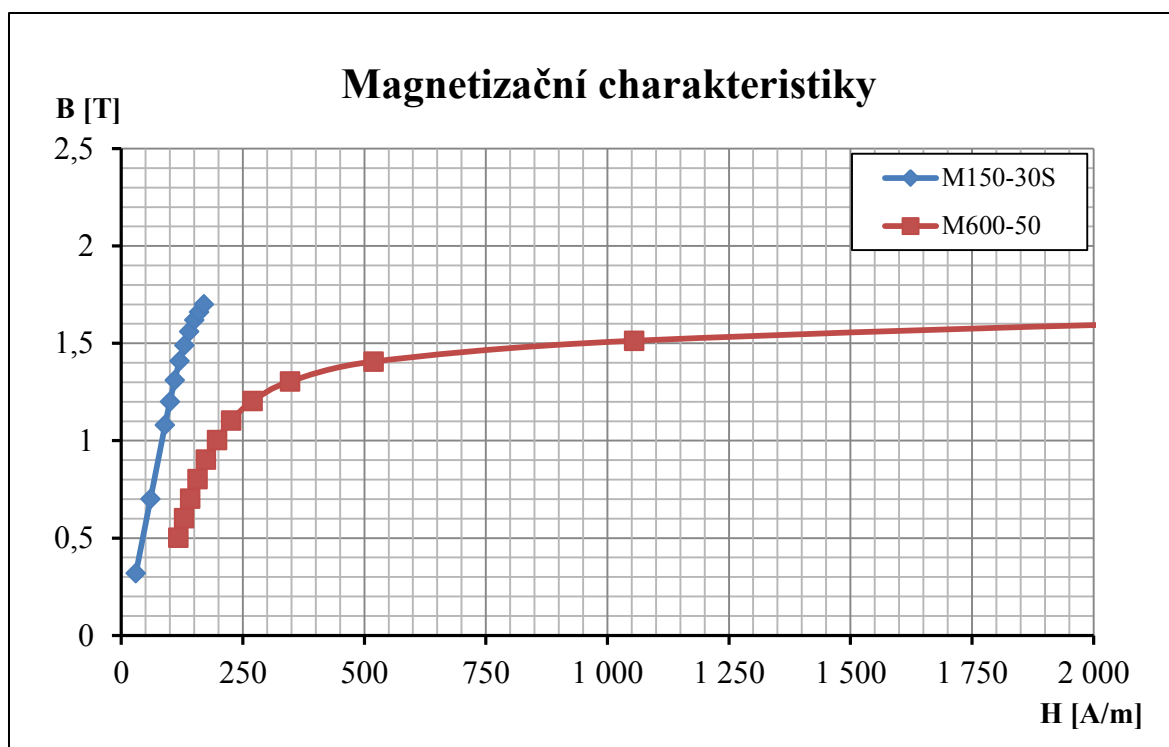
Obr. 7.2 Fotografie jedné poloviny jádra pro jednofázové transformátory

Magnetické vlastnosti jádra vyrobeného z materiálu M150-30S jsou uvedeny v Tab.7.1

Tab. 7.1 Magnetické vlastnosti jádra stanovené normou EN 10107

Norma	Tloušťka	Max. ztráta v jádře při 1,5 T [W/kg]	Maximální ztráta v jádře při 1,7 T [W/kg]		Min. J800	Nejmenší činitel plnění	Typ
EN 10107	mm	50 Hz	50 Hz	60 Hz*	T		PowerCore
M 150-30 S	0,30	0,97	1,50	1,97	1,75	0,955	C 150-30

Magnetizační charakteristiky materiálů jakosti M150-30S a M600-50 na Obr.xx jsou zrekonstruované podle z katalogových křivek výrobce Thyssen Krupp.



Obr. 7.3 B-H charakteristiky jader z orientovaných (M150-30S) trafoplechů a neorientovaných dynamoplechů M600-50

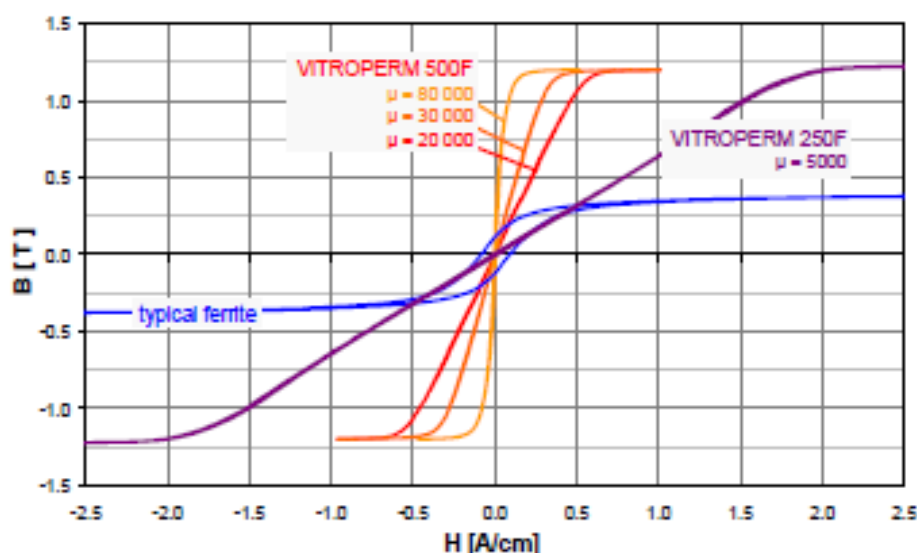
b) Firma Vacuumschmelze (VAC)

Tento německý výrobce poskytnul dva vzorky toroidních jader s nanokrystalickou strukturou. Materiál je prodáván pod obchodním názvem Vitroperm 500F a vyniká velice úzkou hysterezní smyčkou, vysokou hodnotou magnetické indukce při malé koercivitě. Základní složkou Vitropermu je Fe s příměsemi Si, B, Nb a Cu.

Tab. 7.2 Magnetické vlastnosti Vitropermu 500F uvedené v katalogu výrobce

Saturační indukce	Statická koercivita	Přibližná rezistivita	Curieho teplota	Permeabilita	Měrné ztráty (100kHz, 0,3T)
B_s [T]	H_c [A/m]	φ [$\mu\Omega/\text{cm}$]	t_c [$^{\circ}\text{C}$]	μ_i	P_{Fe} [W/kg]
1,2	<3	115	>600	15000...150000	80

Na Obr. Xx jsou výrobcem uvedené magnetizační charakteristiky Vitropermu 500F a 250F v porovnání s typickou charakteristikou feritu.

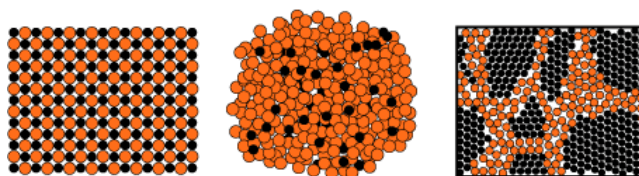


Obr. 7.4 Jádra z Vitropermu 500F dosahují, oproti běžnému feritu, mnohem vyšší magnetické indukce

Je zřejmé, že cena Vitropermových jader je oproti feritovým mnohem větší a to díky náročnému výrobnímu procesu.

Společnost VAC ve svém sortimentu nabízí jádra s amorfni strukturou s obchodním názvem Vitrovac. Vyrábí se metodou rychlého tuhnutí, kdy se na studený buben otáčející se rychlostí 100km/h vlévá skrze keramickou trysku směs materiálů roztavená na teplotu okolo 1300 $^{\circ}\text{C}$ a prudce se ochlazuje (1000000 K/s) na méně než 400 $^{\circ}\text{C}$ v 1ms. Tím vzniká páska tloušťky 20 μm s amorfni strukturou.

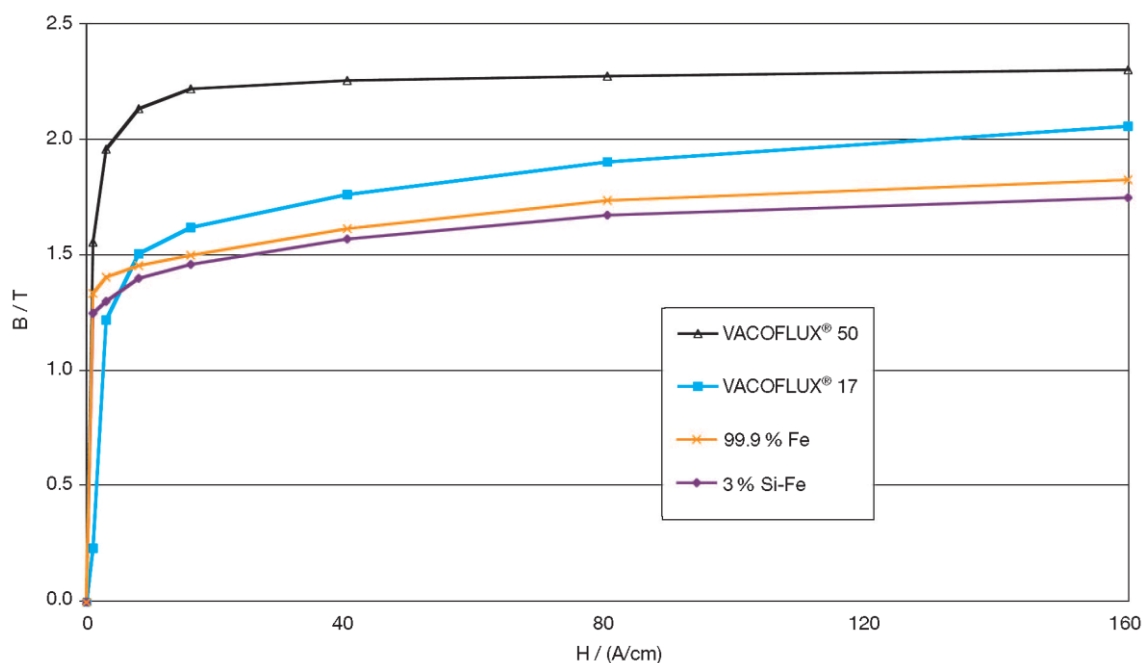
Na Obr. 7.7 je pro představu vyobrazená krystalická, amorfni a nanokrystalická struktura materiálu.



Obr. 7.5 Detail na krystalickou strukturu (vlevo), amorfni a nanokrystalickou strukturu (vpravo)

Mezi další materiály, které VAC nabízí, patří materiály pro elektrické stroje a zařízení, kde je požadována vysoká hodnota indukce. Tyto materiály jsou známi pod obchodními názvy Ultraperm, Vacoperm, Mumetall, Permax, Permenorm, Megaperm, Trafoperm, Vacoflux, Vacofer a Vacodur.

Pro srovnání jsou na Obr.xx magnetizační charakteristiky materiálů Vacoflux 50, Vacoflux 17 a Fe a Fe 3% příměsí Si.



Obr. 7.6 Statické magnetizační charakteristiky materiálu Vacoflux 50 a Vcoflux 17 dosahují vyšší hodnoty magnetické indukce nasycení, než běžná křemíková ocel s obsahem 3% křemíku a Fe 99,9%

c) Firma Magnetics

Společnost Magnetics vyrábí jádra lisováním prachových příměsí se základní složkou. Na trhu jsou známy pod označením High Flux, MPP (Magnetics Molypermalloy Powder), Kool M μ a Xflux.

1. **Jádra High Flux** jsou složena ze 79 % Ni, 17 % Fe a 4% Mo. Mají nejnižší měrné ztráty ze všech prachových jader.
2. **Jádra MMP** obsahují 81 % Ni, 17 % Fe, a 2% Mo. Mají vynikající vlastnosti, jakými jsou vysoká rezistivita, nízké hysterezní ztráty a ztráty vířivými proudy. Z všech jader mají největší permeabilitu, tím pádem i vyšší hodnotu saturace.
3. **Jádra Kool M μ** jsou vyrobená lisováním prachu železných slitin a vykazují nejmenší magnetostrikci.
4. **Jádra XFlux** obsahují prach Fe s příměsí 6,5 % Si. Jsou vhodná pro nízkofrekvenční a středofrekvenční tlumivky.

Tab. 7.3 Magnetické vlastnosti jader společnosti Magnetics katalogu výrobce

Materiál	High Flux	MMP	Kool M μ	XFlux
Permeabilita	14-160	14-555	26-125	60
(B _s) [T]	1,5	0,75	1,05	1,6

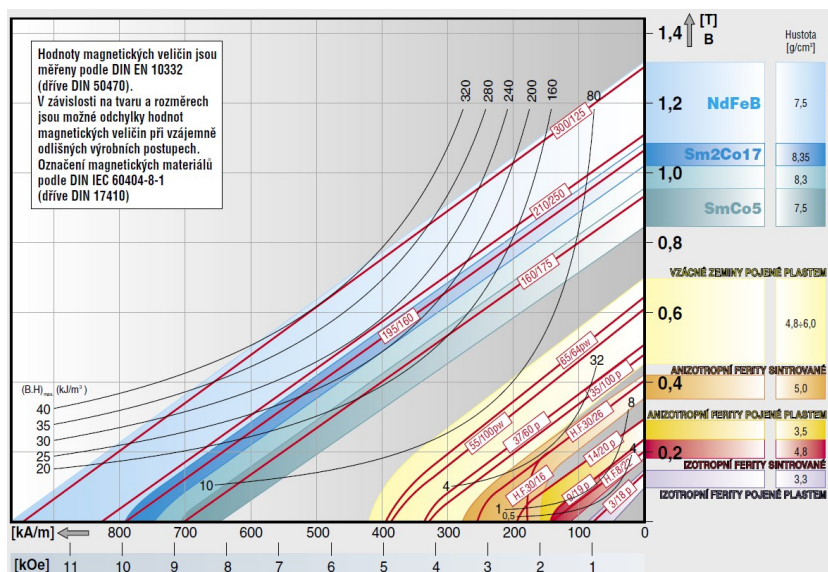
Jádra železoprachová bývají též označovaná jako železová jádra a jsou vyráběna lisováním izolovaného prášku z magneticky měkkého materiálu s nízkou koercitivní silou a vysokou permeabilitou. V současné době z tohoto materiálu vyrábějí jádra kromě firmy Magnetics jen někteří výrobci a to především válcová ladicí jádra pro ladění feritových hrníčkových jader a kruhová jádra pro odrušovací cívky a filtrační tlumivky měničů napětí. Zvyšování objemu izolační látky vede ke snižování permeability jader a změně teplotní závislosti samotného magnetického materiálu jádra a roztažností jeho jednotlivých složek. Volbou směsi magnetických prachů je možné předem definovat teplotní činitel permeability, který může nabývat klasných záporných popř. i nulových hodnot.

Průmyslově se vyrábějí jádra z jemných magnetických prachů s odstupňovanou permeabilitou v rozsahu $\mu = 7$ až 550. Jádra toroidní s permeabilitou 7 až 150 se používají v laděných obvodech filtrů pro odrušovací tlumivky jádra s permeabilitou 90 až 550 v napájecích spínacích zdrojích. Vysoké permeability je dosaženo materiálovým složením magnetických prachů a změnou velikosti zrn. Čím větší jsou prachová zrna, tím vyšší je permeabilita díky zvýšení poměru magnetického materiálu vůči izolační látce.

7.2 Magneticky tvrdá feromagnetika

Magneticky tvrdé feromagnetické materiály mají magnetizační křivku s malou strmostí a širokou hysterezní smyčkou. Vykazují poměrně malou permeabilitu a velkou koercivitu $H_c < 2,5 \cdot 10^3$ A/m. Používají se pro permanentní magnety. Vývoj v oblasti těchto materiálů nechal vzniknout celé řadě magnetů odlišujícími se magnetickými vlastnostmi, konduktivitou, mechanickými vlastnostmi a ekonomickými parametry. Tvrdá feromagnetika lze rozdělit následovně:

- Uhlíkové oceli** – s obsahem 1,5% uhlíku. Dále byly zdokonaleny legováním wolframem, chromem a kobaltem a zakalením na martenzitickou strukturu. Následně byly vyrobeny mnohem výhodnější slitiny železa, niklu a hliníku (Al-Ni), případně kobaltu (Al-Ni-Co), mědi, či titanu. Nevýhodou slitin Al-Ni a Al-Ni-Co je značná mechanická tvrdost, křehkost a tím pádem i obtížná opracovatelnost.
- Tvrdé ferity** – např. bariové ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$) nebo stronciové ($\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$) ferity s obsahem přibližně 80 % železa a asi 20 % oxidu baria BaO nebo stroncia SrO. Mohou být izotropní a anizotropní. Nízká cena a spolehlivost předurčuje tyto materiály pro užití v automatizační, řídicí a měřicí technice.
- Magnety ze vzácných zemin** – složení na bázi samarium-kobalt (SmCo_5 a $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$) nebo na bázi neodým-železo-bór ($\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$). Vyrábí se procesy práškové metalurgie: lisováním v magnetickém poli s následným spékáním. Patří k **nejvýkonnějším** permanentním magnetům. Používají se v silnoproudé, počítačové a řídicí technice a u elektroakustických zařízení.
- Plastové magnety** – jsou vyráběny ve formě plastové nemagnetické matrice, v níž je plnidlem jemný prášek z vhodných slitin (alni, alnico, tvrdé ferity či materiály na bázi vzácných zemin). Mohou být izotropní nebo anizotropní. Vyrábí se lisováním nebo slinováním při vysoké teplotě do libovolného tvaru. Používají se v slaboproudé technice.



Obr. 7.7 Srovnání demagnetizačních charakteristik permanentních magnetů

7.3 Měření hysterezních charakteristik vzorků magnetických jader

Pro měření hysterezních charakteristik byl použit systém Remacom-C2.

Příprava vzorků magnetických jader pro měření na systému Remacom-C2

Na jádra bylo před měřením navinuto primární a sekundární vinutí. Mezi primárním a sekundárním vinutí byl proveden izolační proklad lepicí páskou. Průměr vodiče a počet závitů v primárním (N_1) a sekundárním (N_2) vinutí je uveden v Tab. Na Obr. jsou již vzorky připraveny pro měření.

Tab. 7.4 Bližší specifikace rozměrů, počet závitů vinutí a průměr vodičů

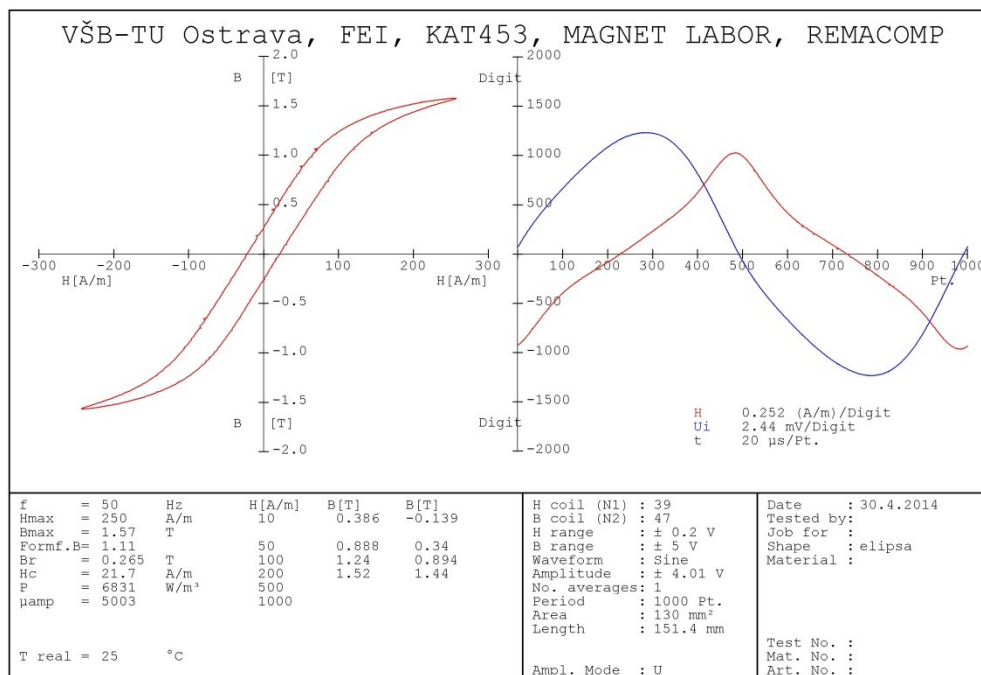
Výrobce		Therma FM	Vacuumschmelze	Magnetics
Jádro		C150-30S	Vitroperm 500F	KoolM μ
Tvar		Obdélníkové	Toroid	Toroid
Vnější průměr	[mm]	64x36	32,3	27,4
Vnitřní průměr	mm]	55x16	17,8	14,5
Výška	mm]	13	12,2	11,7
N_2	[z]	47	53	41
N_1	[z]	47	53	41
Průměr vodiče	[mm]	0,75	0,5	0,5

Měření je provedeno při frekvencích 50Hz a 300Hz a maximální intenzitě 250 A/m u jader M150-30S a Vitropermu 500F. Materiál KoolM μ byl měřen při maximální intenzitě 5950 A/m z důvodů zachycení maximální hodnoty indukce tohoto jádra. Na Obr.7.1 až 7.15 jsou pro srovnání hysterezní uvedeny charakteristiky měřených materiálů.

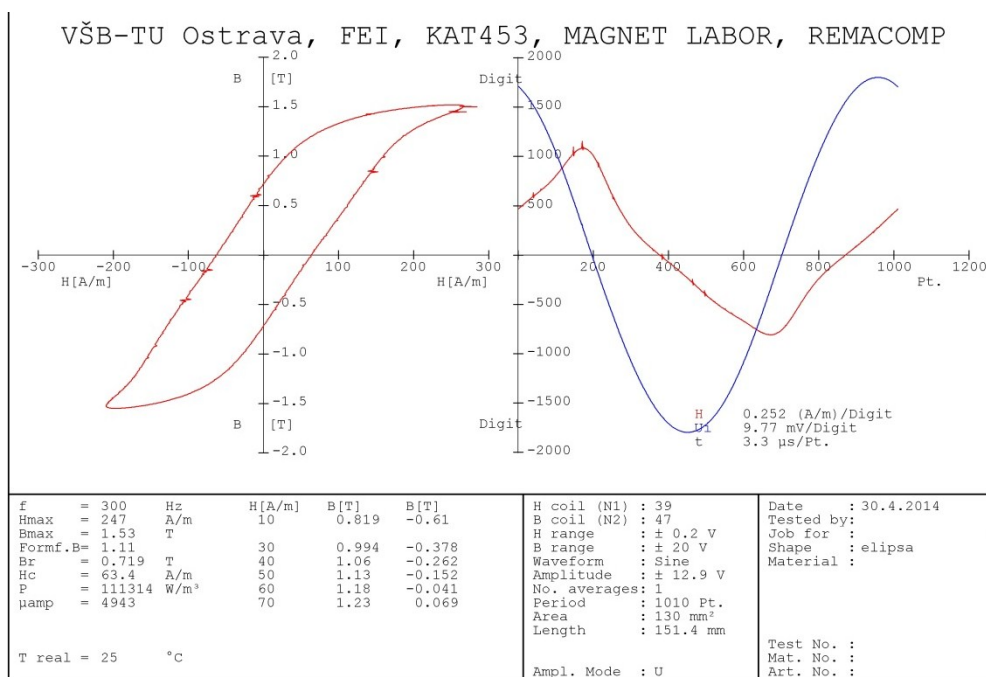


Obr. 7.8 Vzorky jader připravené na měření hysterezních charakteristik. Vlevo M150-30S, uprostřed Vitroperm 500F a vpravo KoolM μ

Obr. 7.9 Hysterezní smyčka jádra z plechů M150-30S měřená při maximální hodnotě intenzity



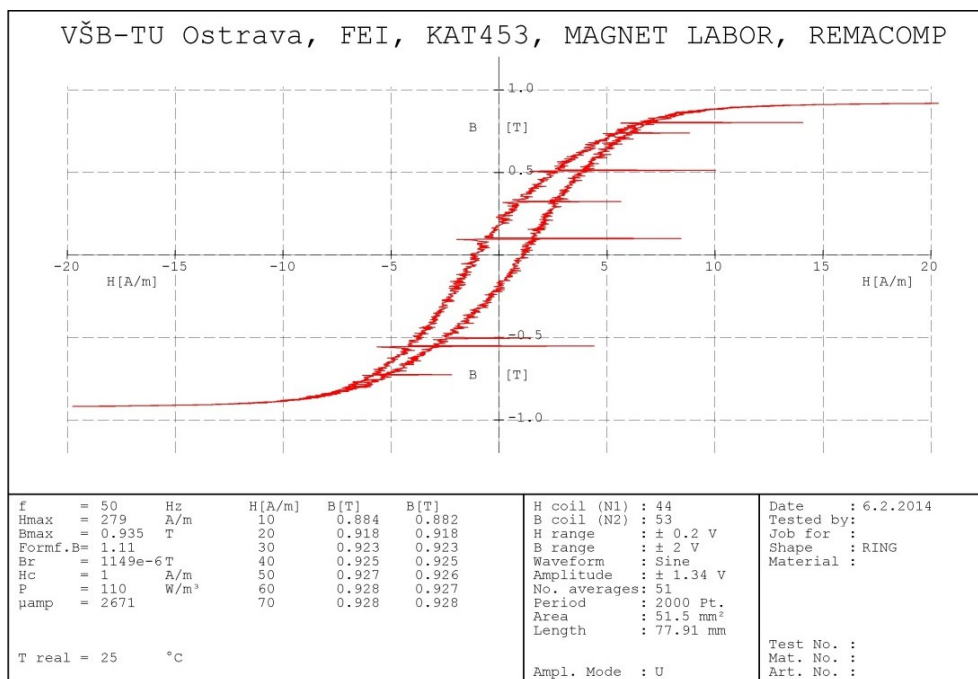
Obr. 7.10 Hysterezní smyčka jádra z plechů M150-30S měřená při maximální hodnotě intenzity magnetického pole $H_{max}=250$ A/m, $B_{max}=1,57$ T



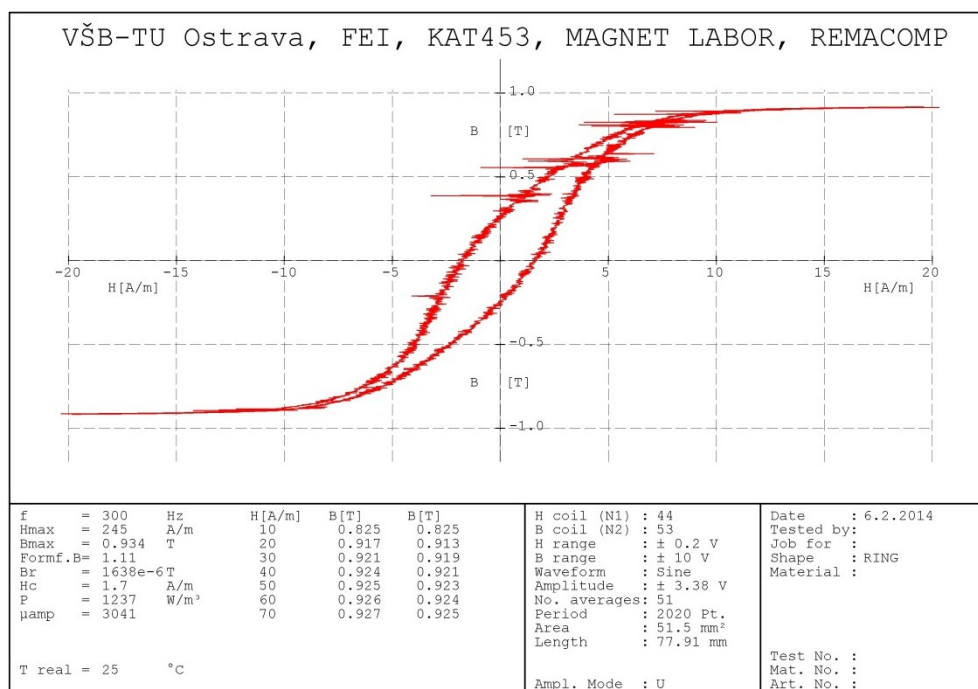
Obr. 7.11 Hysterezní smyčka jádra z plechů M150-30S měřená při maximální hodnotě intenzity magnetického pole $H_{max}=250$ A/m, $B_{max}=1,53$ T

Při frekvenci 300Hz došlo k nepatrnému snížení hodnoty B_{max} oproti 50 Hz. Intenzita H_c se ztrojnásobila.

Remacomp-C2 nebyl schopen naměřit hysterezní smyčku Vitropermu 500F na Obr. zcela bezchybně.

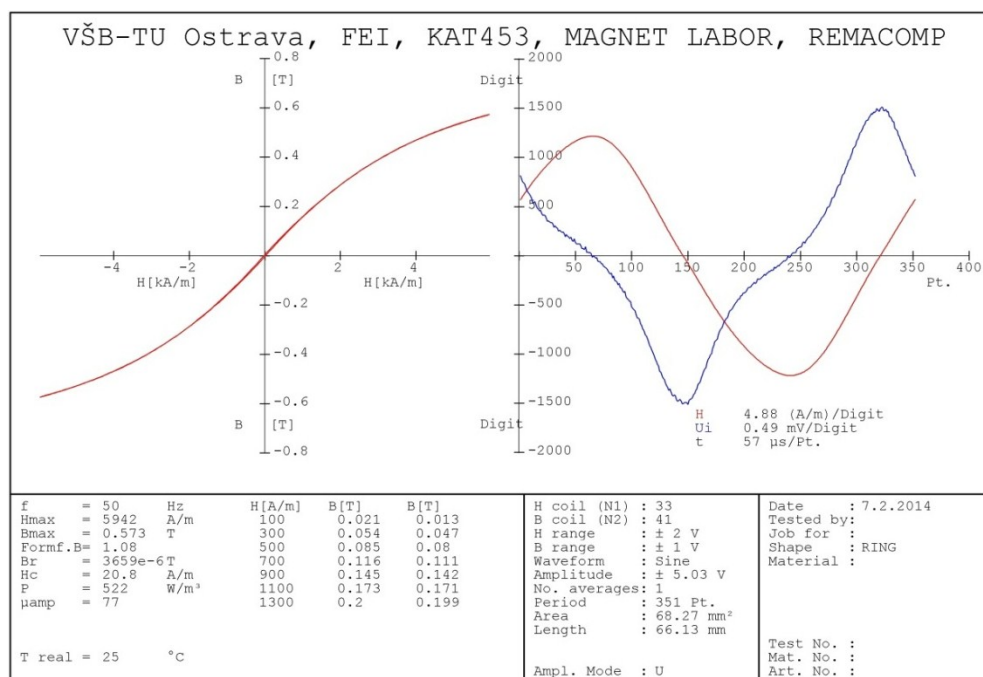


Obr. 7.12 Hysterezní smyčka jádra z Vitropermu 500F měřená při maximální hodnotě intenzity magnetického pole $H_{max}=279$ A/m, při 50Hz vykazuje odskoky od skutečného průběhu.

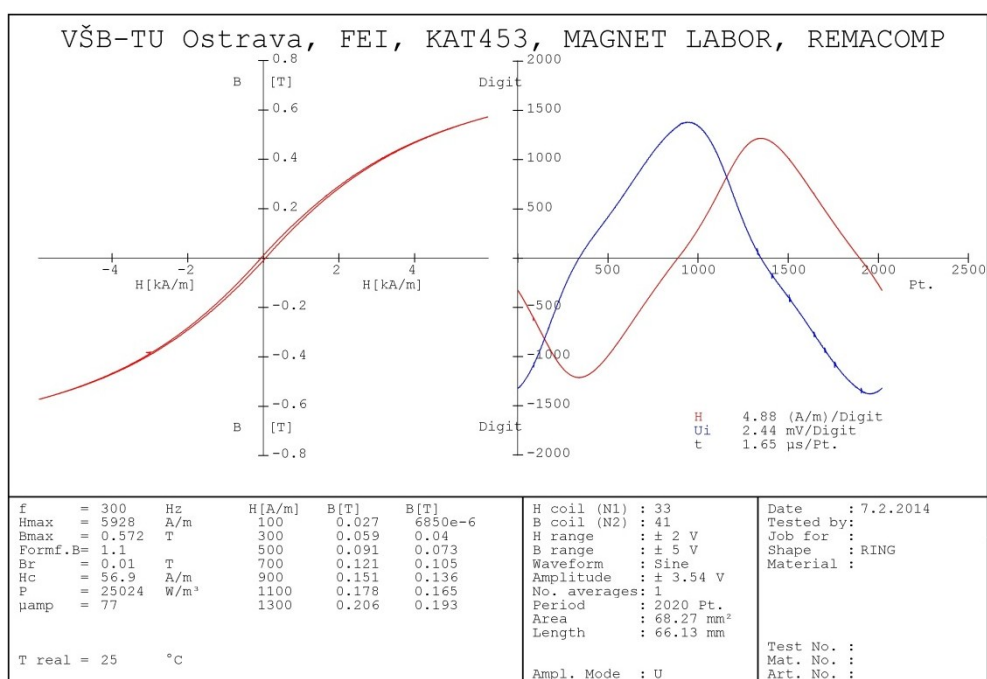


Obr. 7.13 Hysterezní smyčka jádra z Vitropermu 500F měřená při maximální hodnotě intenzity magnetického pole $H_{max}=279$ A/m, při 300 Hz také vykazuje odskoky od skutečného průběhu.

Při změně frekvence z 50 Hz na 300Hz došlo k nárůstu koercitivity o pohých 0,7 A/m. Materiál vykazuje velice malou hodnotu remanentní indukce pro obě frekvence.



Obr. 7.14 Hysterezní smyčka jádra Kool Mμ, změřená při maximální hodnotě intenzity magnetického pole $H_{max}=5950$ A/m, při 50 Hz



Obr. 7.15 Hysterezní smyčka jádra Kool Mμ, změřená při maximální hodnotě intenzity magnetického pole $H_{max}=5950$ A/m, při 300 Hz

7.3.1 Vyhodnocení naměřených výsledků

Nejvyšší hodnoty indukce dosahují jádra z plechů M150-30S. Koercitivní intenzita se u jádra z plechů M150-30S, stejně jako u materiálu KoolM μ , při změně frekvence z 50 Hz na 300 Hz ztrojnásobila.

Nízká cena jader KoolM μ je z hlediska naměřených veličin odpovídající. Jádra Kool M μ vykazují amplitudovou permeabilitu μ_a pouze 77. Výrobce uvádí hodnotu $\mu_a=125$.

Nejnižší koercitivní intenzita byla naměřena u materiálu Vitroperm 500F. Měření magnetického jádra Vitroperm 500F při 50 Hz prokázalo velice nízkou koercitivní intenzitu $H_c = 1 \text{ A/m}$, která odpovídá údajům z katalogového listu. Tento špičkový materiál se používá pro své charakteristické vlastnosti pro jednofázové a trojfázové magnetické obvody ve spínaných napájecích zdrojích, frekvenčních měničích, ale i pro běžné tlumivky. Struktura tohoto materiálu je velice křehká, neboť je navinuta z 20 μm tenkých vrstev. Díky tomu není vhodné tato jádra dělit řezáním.

8 Realizovaný Adamsův motor

8.1 Virtuální model Adamsova motor generátoru a jeho praktická realizace

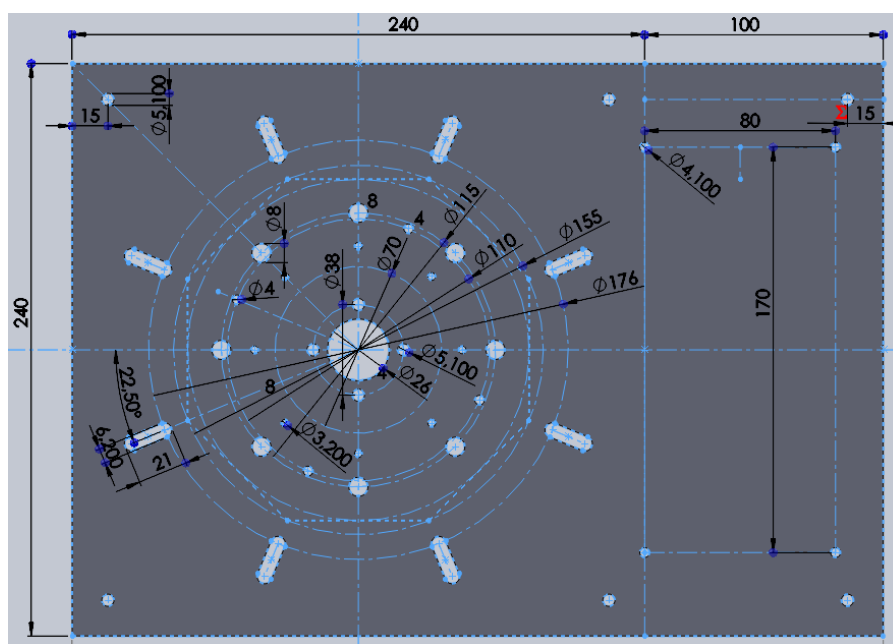
Model motoru je vytvořen v programu SolidWorks. SolidWorks je mocným nástrojem konstruktéra a nabízí snadnou optimalizaci modelu.

Po vytvoření jednotlivých dílů je možné tyto díly pomocí vazeb navzájem svázat a tím dát okamžitou představu o chování modelu.

Při návrhu Adamsova motoru, jsem vycházel především z rozměrů magnetických jader statorové části stroje.

8.1.1 Stator

- a) Jako nosná konstrukce pro jádra statoru, uložení ložisek, uchycení desky plošných spojů optických senzorů slouží dvě tabule z plexiskla tloušťky 8 mm, které tvoří nosnou konstrukci, neboť jsou po obvodu vzájemně spojeny šesti závitovými tyčemi o průměru 5 mm. Na Obr. je zadní nosná tabule plexiskla.

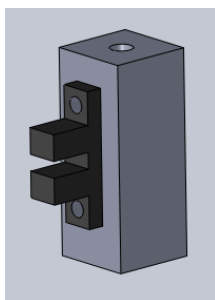


Obr. 8.1 Zadní nosná deska z plexiskla.

Otvor průměru 26 mm nacházející se uprostřed, slouží pro uložení kuličkového ložiska. Skrze otvory průměru 5,1 mm po jeho obvodu, prochází šrouby pro přichycení krytů ložiska. Následují otvory určené pro upevnění optických čidel, dřevěného krytu pro zakrytí vodičů připojených k vinutím a optickým senzorům. Skrze podlouhlé drážky jsou šrouby přitaženy dřevěné držáky statorových jader. Vzhledem ke tvaru drážky je zajištěna možnost jejich

polohování vzhledem k rotoru. Volný prostor na pravé straně je určen pro upevnění desky plošných spojů s elektronickými součástkami.

- b) Nosné držáky pro jádra statoru jsou použity dřevěné špalíky, do kterých jsou jádra vlepena epoxidovou pryskyřicí.
- c) Optočleny TCST 2103 jsou přitaženy k jejich dutým dřevěným držákům imbusovými šrouby průměru 3 mm. Skrze dřevěné držáky jsou kolmo na směr vývodů optočlenu vyvrtány otvory pro závitové tyče, jež spolu s našroubenými matkami přitahují držák s čidlem jedné k zadní desce plexiskla statorové části stroje. Jistá úroveň dotažení matce dovoluje držák s čidlem natáčet a měnit tak okamžik sepnutí optočlenu.

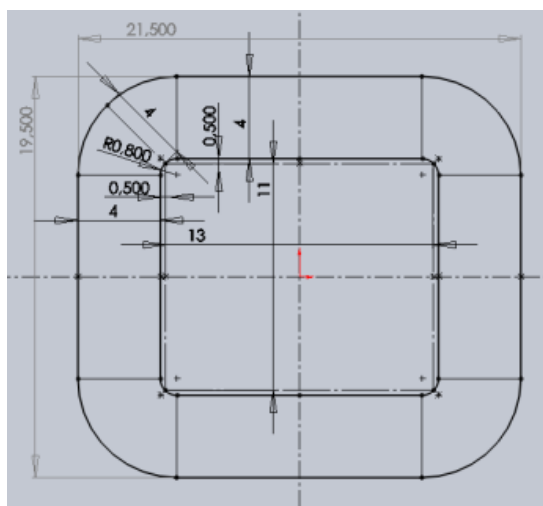


Obr. 8.2 Optočlen TCST 2103 připevněný k dřevěnému držáku.

- d) Stejnou vzdálenost mezi dvěma plexiskly statoru zajišťují distanční trubice, skrze které prochází zmíněné závitové tyče spojující obě základové tabule plexiskla. Tyto trubice jsou vyrobeny z kostry stojanu pro sušení prádla. Z estetických důvodů je na nich navlečena a zatavena, teplem smršťovací bužírka.

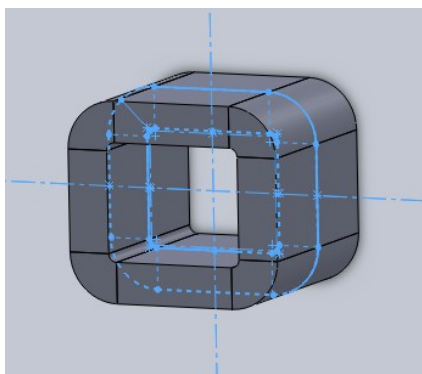
Postup vytvoření cívky v SolidWorksu

1. V přední rovině skici na Obr. je pomocí os X a Y vytvořen souřadnicový systém potřebný pro tvorbu základních vazeb využitých při rýsování.
2. Čelní pohled na jeden pól magnetického jádra ve statoru, na které má být umístěna jedna budících cívek je vytvořen z konstrukčních přímek a okótován rozměry 13 mm x 11 mm.
3. Vnitřní rozměry cívky jsou z čelního pohledu oproti jádru na každé straně zvětšeny o 0,5 mm tedy o tloušťku fólie, jež tvoří kostřičku cívky a malou vzduchovou mezeru umožňující volné nasunutí cívky na magnetické jádro.
4. Poloměr zaoblení vnitřní části kostry cívky je 0,8 mm.



Obr. 8.1 Skica návrhu dílu

5. Vnější rozměry cívky jsou dány počtem vrstev závitů a celkovým činitelem plnění cívky. Deset vrstev závitů vodičem 0,3 mm spolu s izolační a nosnou kostrou cívky vytvoří 4 mm vysokou vrstvu závitů v rozích zaoblenou se stejně velkým poloměrem 4mm. Vnější a vnitřní zaoblení rohů je od rovných segmentů skici odděleno úsečkami, čímž je skica dokončena.
6. Využitím funkce *přidání vytažením* a její aplikací na jednotlivé segmenty skici je cívka symetricky vytažena do prostoru na délku 19 mm. Zamítnutím funkce sloučit výsledky, při vytažení, jsou všechny segmenty cívky vytvořeny jako samostatné objekty, čímž odpadá dělení modelu v Ansysu.

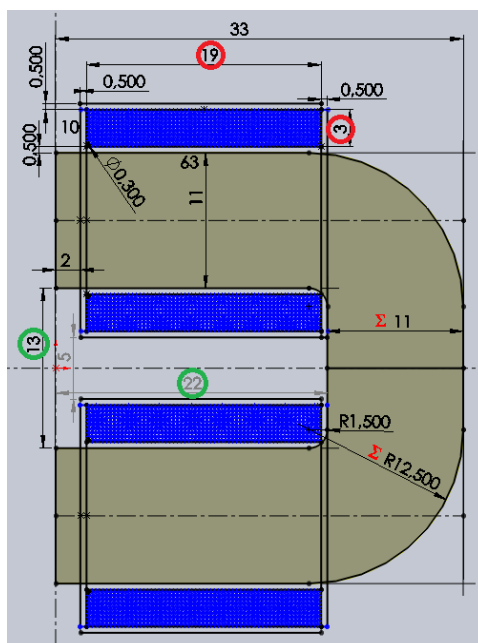


Obr. 8.2 Model cívky

Magnetická jádra použitá ve statoru jsou původně určena pro jednofázové jádrové transformátory.

Jádro transformátoru je při výrobě navíjeno na obdélníkové kopyto o rozměrech odpovídajících požadované velikosti okna pro primární a sekundární vinutí. Jádro je po navinutí z transformátorového plechu rozříznuto na dvě poloviny jak je zřejmé z Obr. xx, čímž je možné do magnetického obvodu nasunout primární a sekundární vinutí.

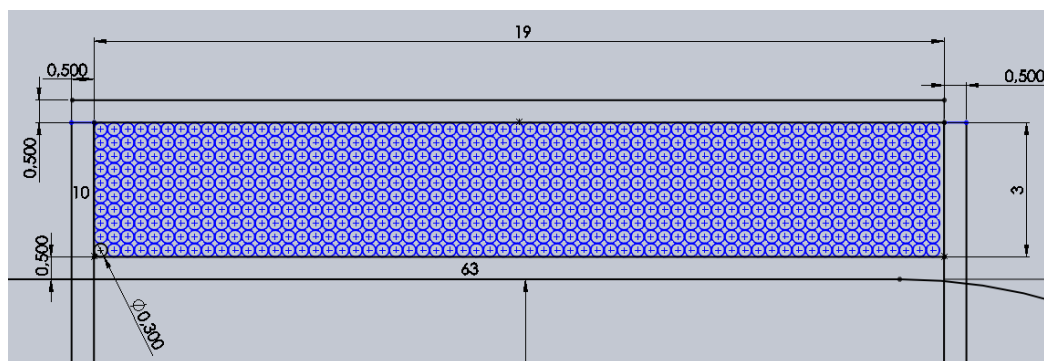
V našem případě je pro každé magnetické jádro statoru použita pouze jedna polovina zmíněného transformátorového jádra. Okno statorového jádra určené pro umístění obou vinutí statoru má pouze poloviční délku oproti transformátoru a na straně řezu je otevřeno.



Obr. 8.3 Pohled na uložení vinutí

Obě budící cívky jsou nasunuté na jednom jádru statoru a jsou totožné, tj. mají stejný počet závitů vinutých vodičem o stejném průřezu. Jsou spojena do série a spolu s magnetickým jádrem tvoří jeden z osmi statorových magnetických obvodů.

Na Obr. Xx je bližší pohled na rozložení vodičů v průřezu cívkou. Každá vrstva závitů cívky obsahuje 63 závitů v deseti vrstvách.



Obr. 8.4 Rozložení závitů

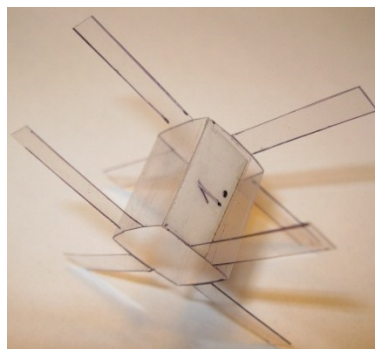
Počet závitů v jedné cívkě je dán násobkem počtu závitů v jedné vrstvě a množstvím vrstev, tedy $63 \times 10 = 630$ závitů. Jelikož jsou obě cívky na magnetickém jádru spojeny do série, celkový počet závitů je dvojnásobný, tedy 1260 závitů. Protože statorová jádra odděluje od rotoru vzduchová mezera 0,5 mm, jsou obě vinutí od konce jádra umístěny ve vzdálenosti 2 mm pro zajištění bezpečné vzdálenosti od otáčejícího se rotoru. Následkem toho se do jedné vrstvy cívky vleze menší počet závitů blíže zpražených s magnetickým tokem v jádru.

Počet vrstev obou vinutí je též omezen, a to jednak velikostí okna a mezerou 5 mm mezi oběma vinutími. Tato mezera zajišťuje možnost volného nasunutí vinutí na magnetické jádro a umožňuje lepší odvod tepla do okolí.

Pro dosažení konstantní vzduchové mezery mezi vyniklými póly rotoru a jádru ve statoru, jsou konce statorových jader zbroušeny na poloměr blízký poloměru plechů v rotoru.

Kostřička cívky

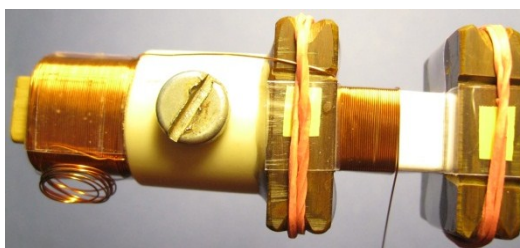
Pro výrobu kostřiček cívek posloužila plastová folie určená pro krytí přední strany dokumentu svázaného v kroužkové vazbě. Po vyřezání a ohnutí do požadovaného tvaru byla a slepena oboustrannou lepicí páskou.



Obr. 8.3 Kostřička cívky vyrobená z plastové folie

Navíjení cívek

Pro navíjení cívek se realizovalo ruční navíječkou s mechanickým počítadlem. Na Obr.8.4 je vidět, že obě cívky jsou navinuty nepřerušným vodičem. Obě cívky mají 630 závitů.



Obr. 8.4 Pro zpevnění čel cívek během navíjení na plastovou kostřičku posloužily 5mm široké destičky z pertinaxu. Drážky v nich vybroušené umožnily zachycení výstupního vodiče cívky pod navlečenou gumičku. Levá destička pertinaxu je odnímatelná po uvolnění dotaženého šroubu

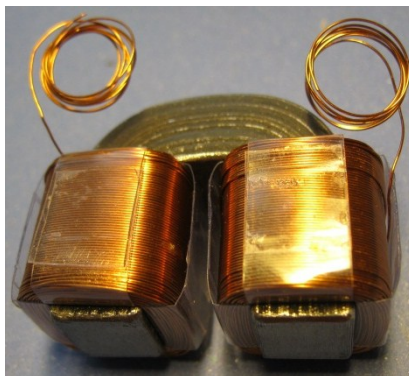
Hotová cívka navinutá na kostřičce z plastové folie je na Obr. Po navinutí cívky se čela kostřičky (plastové folie) zahnula přes horní vrstvu závitů a navzájem slepila sekundovým lepidlem.



Obr. 8.5 Pohled na cívku zpevněnou kostřičkou z plastové folie.

Statorové jádro s cívkami

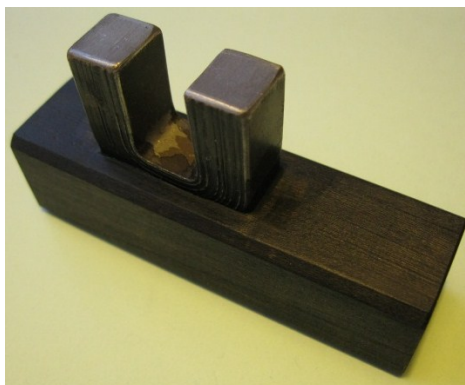
Na každé z osmi statorových jader jsou nasunuty dvě sériově spojené cívky. Pro pevné zachycení obou vinutí je použit pružný tmel.



Obr. 8.6 Pohled na statorové jádro s nasunutým vinutím

Uchycení statorových jader

Statorová jádra jsou pevně zalepena epoxidovou plyskyřicí do dřevěných sloupků. Po obou stranách sloupku jsou vyvrtány otvory, v nichž jsou vyřezány závitové pro šrouby. Dotažením šroubu jsou sloupky s jádrem pevně uchyceny v deskách z plexiskla.

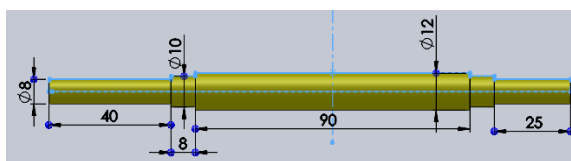


Obr. 8.7 Pohled na jádro zalepené v dřevěném držáku

8.1.2 Rotor

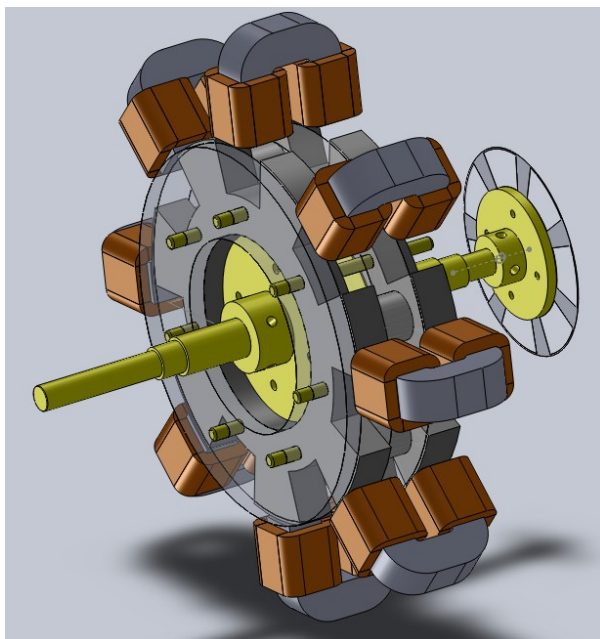
Průměr rotoru a jeho konstrukční řešení je navrženo s ohledem na rozměry jader ve statoru a velkou hmotnost dynamoplechů.

- e) Z velikosti okna pro primární vinutí je odvozena potřebná výška permanentních magnetů a počet vrstev dynamoplechů v rotoru.
- f) Rozměry hřídele jsou voleny s ohledem na použitá kuličková ložiska o vnitřním průměru 10 mm a hmotnost rotorových plechů a je počítáno s jistou rezervou, v případě působení vyšších momentů setrvačnosti celého rotoru. Hřídel a středové příruby zajišťují pevné přichycení středového pouzdra permanentních magnetů, jelikož jsou vzájemně spojeny čtyřmi šrouby. Hřídel a středové příruby jsou vysoustruženy z mosazi.



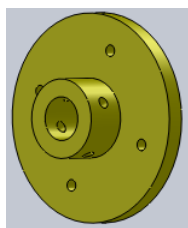
Obr. 8.8 Hřídel je vysoustružená z mosazné kulatiny

Na Obr. je pohled na celkovou sestavu rotoru a statorová jádra. Ke hřídeli jsou příruby připevněny ve čtyřech místech.



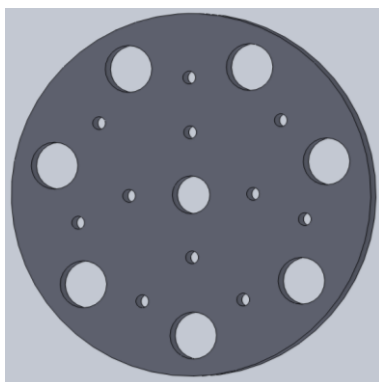
Obr. 8.9 Pohled na rotor a jádra statoru opatřená vinutím

- g) Příruby pro uchycení středového pouzdra rotoru, v němž jsou uloženy magnety, jsou vysoustruženy z mosazi stejně tak i příruba pro komutační disk. Příruby jsou ke hřídeli pevně dotaženy imbusovými šrouby.



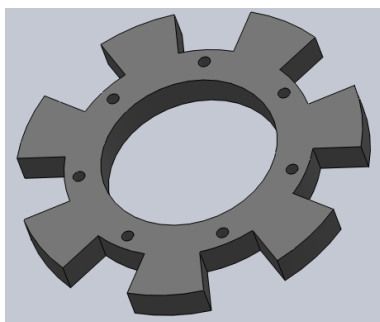
Obr. 8.10 Jedna přírub pro upevnění středového pouzdra magnetů ke hřídeli

- h) Středové pouzdro nesoucí dynamoplechy a magnety je složeno z tří vrstev plexiskla tloušťky $2 \times 4 \text{ mm} + 1 \times 5 \text{ mm}$. Má tedy tloušťku 13 mm stejně jako vnitřní rozměr okna jádra statoru. Příruby navlečené na hřídeli, z obou stran stahují plexiskla středového pouzdra, čímž je pevně spojují s hřídelí.



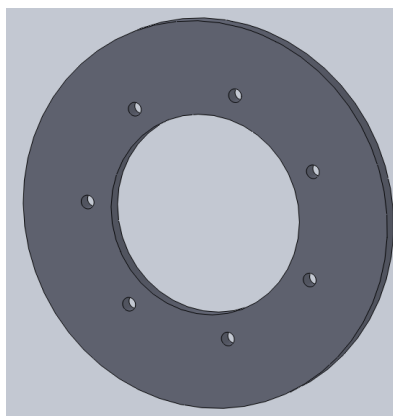
Obr. 8.11 Středové pouzdro permanentních magnetů

- i) Dynamoplechy jsou po obou stranách středového pouzdra navrstveny na požadovanou výšku 11 mm, což odpovídá příslušnému rozměru jádra v jeho řezu. Při tloušťce dynamoplechu 0,5 mm je na obou stranách pouzdra 22 vrstev dynamoplechu. Jak dynamoplechy, tak i středové pouzdro v sobě mají vyřezány otvory pro závitové tyče a díky matkám dotaženým po obou stranách rotoru spojují navzájem tyto části s hřídelí.



Obr. 8.12 Jedna sekce rotoru je složena z 22 vrstev dynamoplechů

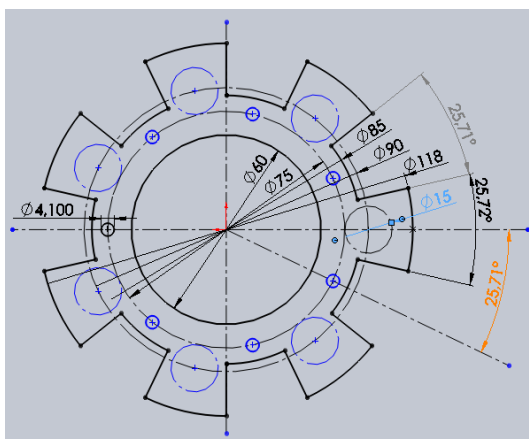
- j) K dobrému stažení dynamoplechů nejen v místech, kde k nim ze stran přiléhají matky, přispívají krycí kotouče z plexiskla na Obr.8.13



Obr. 8.13 Otvorem uprostřed krycího kotouče prochází hřídel a je možné se díky němu dostat na šrouby připevňující příruby rotoru pevně k řídeli

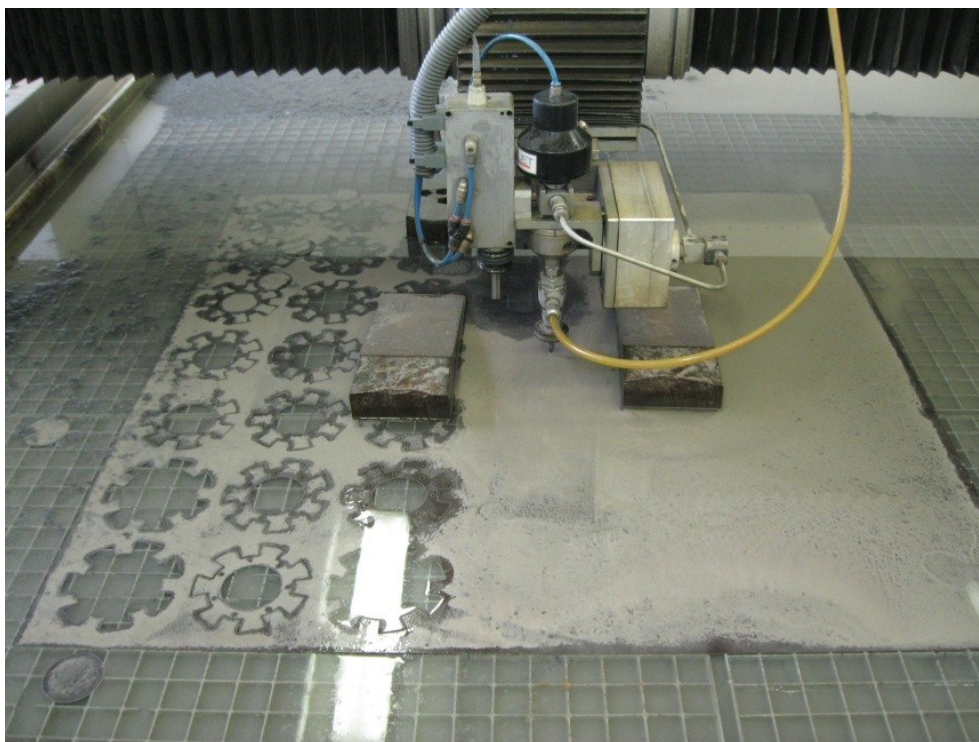
Výroba vyniklých pólů rotoru

Rotorové plechy jsou do požadovaného tvaru na Obr.8.14. vyřezány pomocí vodní pily. Tryska zařízení žene proud vodního paprsku spolu s abrazivem kolmo na řezaný objekt.



Obr. 8.14 Skica rotorových plechů s vyznačenými místy pro umístění permanentních magnetů

Na Obr.xx zachycena vodní pila během vyřezávání požadovaného tvaru rotoru do tabule dynamoplechu o rozměrech 1x1 metr.



Obr. 8.15 Snímek pořízený během řezání dynamoplechu vodním paprskem s abrazivem

Magnetická část obvodu obvodu rotoru se skládá ze dvou sekcí, mezi nimiž jsou umístěny permanentní magnety, které slouží jako zdroj magnetického pole. Každá sekce je vytvořena navrstvením dynamoplechů do vrstvy 11 mm. Při tloušťce dynamoplechu to odpovídá 22 vrstvám v každé sekci.

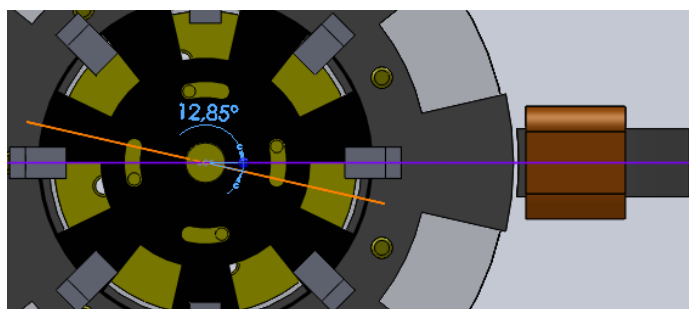


Obr. 8.16 Čelní pohled na zkompletovaný rotor

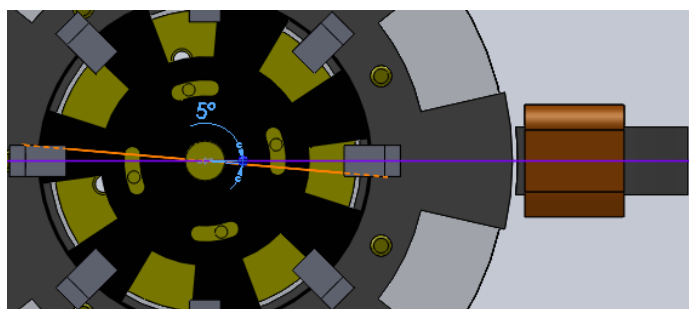
Komutátor

Komutátor je realizován průhlednou fólií s černým potiskem. Pravidelné střídání průsvitných a černých oblastí na fólii během otáčení rotoru, zajišťuje pravidelné přerušování IR paprsku v osmi optoelektronických spínačích TCST 2103 rozmístěných pravidelně okolo obvodu komutační folie.

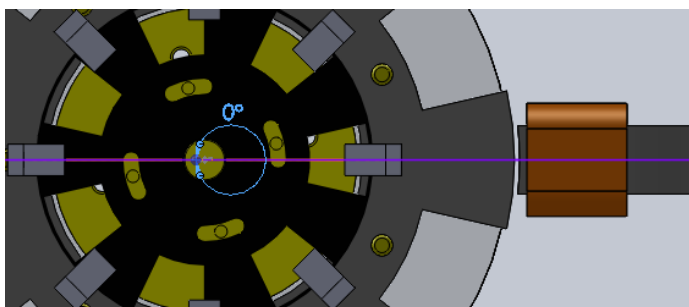
Na fólii je sedm černých a sedm průsvitných výsečí, což odpovídá počtu sedmi vyniklých pólů v obou sekcích rotoru oddělených permanentními magnety. Nastavení optimálního úhlu natočení komutační folie bylo stanoveno měřením pro úhly natočení $12,85^\circ$, 5° , 0° a $-12,85^\circ$. Výsledky jsou shrnuty v závěru práce.



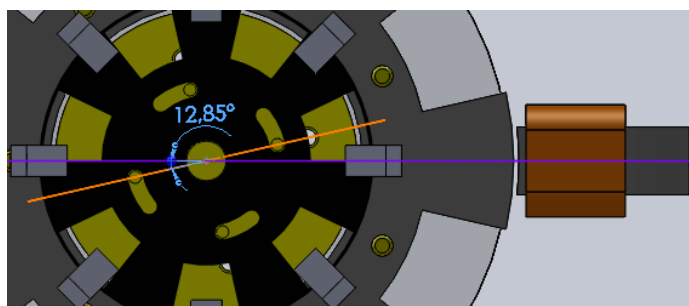
Obr. 8.17 Nastavení úhlu pootočení komutační folie, $12,85^\circ$



Obr. 8.18 Nastavení úhlu pootočení komutační folie, 5°

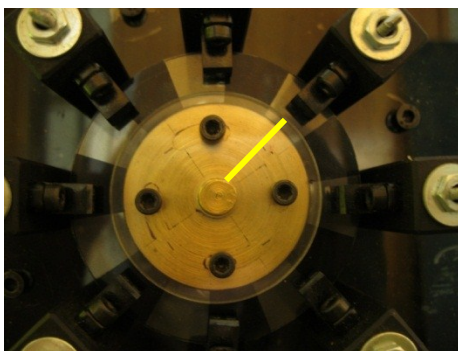


Obr. 8.19 Nastavení úhlu pootočení komutační folie, 0°

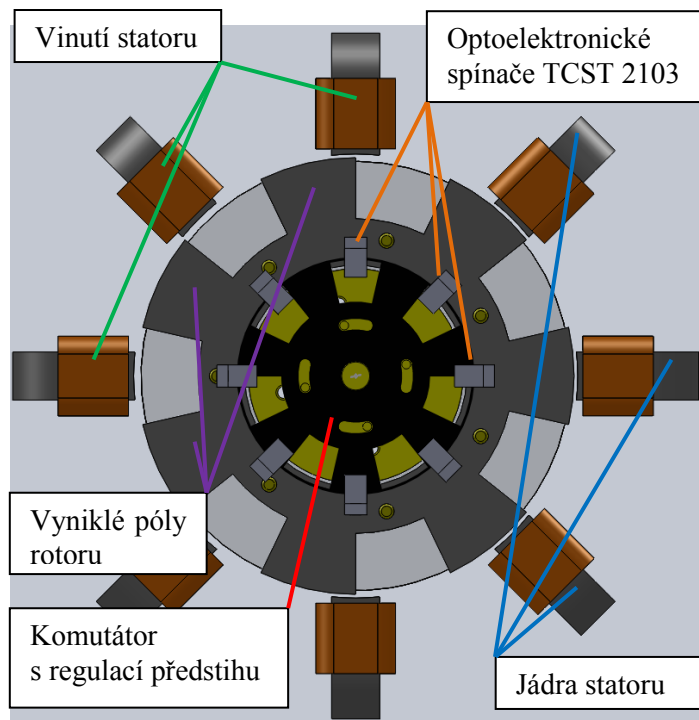


Obr. 8.20 Nastavení úhlu pootočení komutační folie, $-12,85^\circ$

Na Obr. je čelní pohled na realizovaný komutátor. Po obvodu jsou rovnoměrně rozmístěny černé dřevěné držáky s optočleny skrze, které prochází úzké závitové tyče zbroušené tak, aby uvnitř držáku nepoškodily přívodní vodiče optočlenů. Dotažením matek našroubovaných na závitové tyče je možné pevně přitáhnout



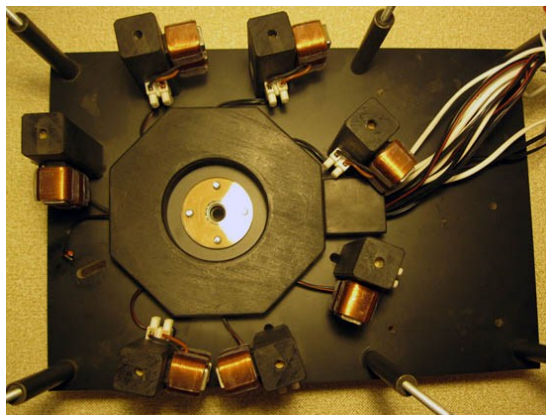
Obr. 8.21 Fotorgrafie realizovaného komutátoru



Obr. 8.22 Podrobnější pohled s popisem částí

Zkompleťovaný motor

Na Obr. jsou na nosné desce namontována statorová jádra.



Obr. 8.23 Horní pohled na nosnou desku. Uprostřed desky je vidět nachází kryt ložiska.

Vodiče cívek na magnetických jádrech, jsou zavedeny do „čokolád“ přišroubovaných po bočních stranách dřevěných držáků jader.

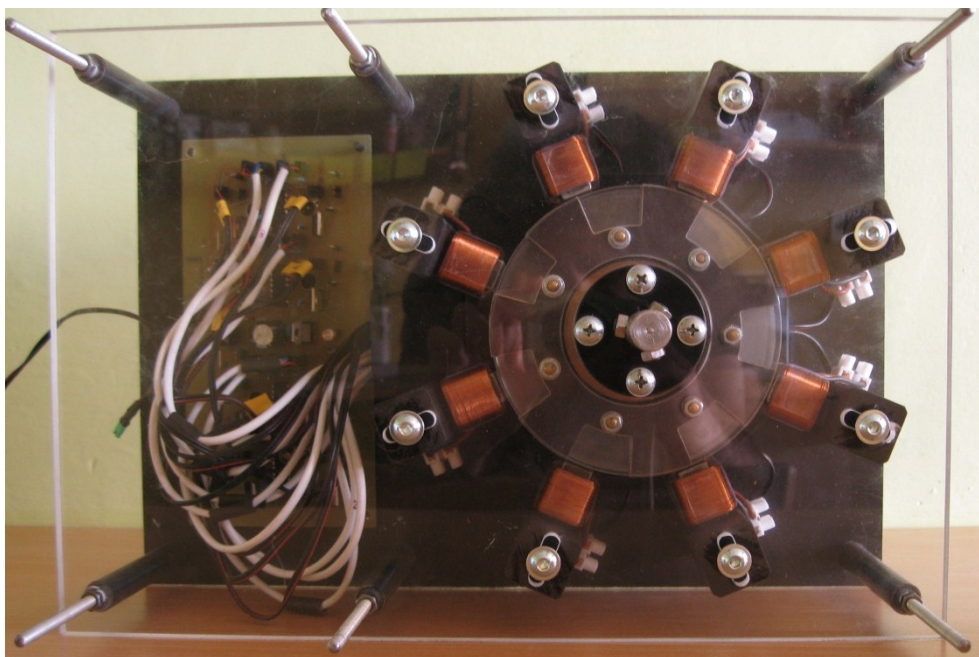


Obr. 8.24 Boční pohled na dřevěné držáky jader statoru

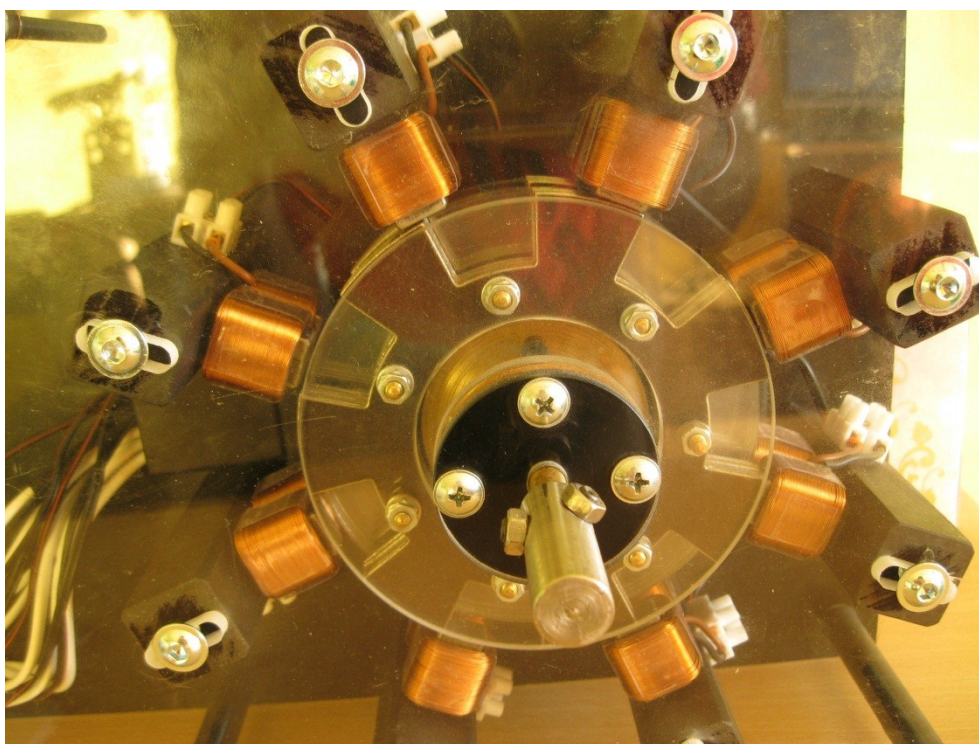
Vývody z čokolád jsou protaženy do dřevěného tunelu zobrazený, ze spodní strany, na Obr. , který slouží jako ochrana před otáčejícím se rotorem.



Obr. 8.25 Spodní strana krycího tunelu před vyvrtáním otvorů pro přichycení k nosné desce



Obr. 8.26 Čelní pohled na hotový model Adamsova motoru

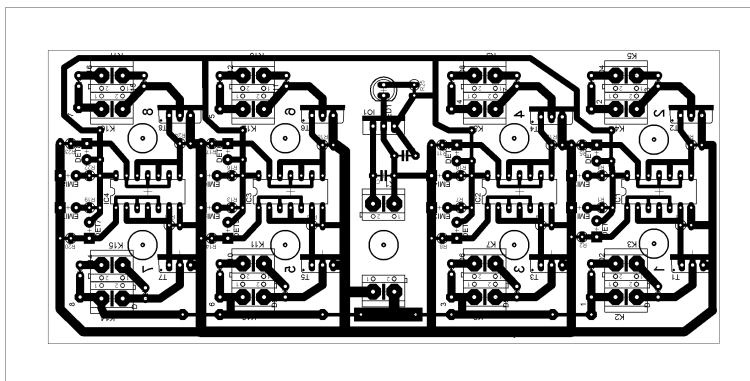


Obr. 8.27 Redukce připevněná na hřídeli slouží pro zvětšení jejího průměru při spojení spojení motoru s dynamometrem.

výstupu mají totéž napětí, pokud je na jejich vstupu napětí nulové. V jednom pouzdře integrovaného obvodu 40106N se nachází 6 invertujících hradel. Paralelním spojení tří je snížen odpor hradla na třetinu. Následuje výkonový MOSFET tranzistor IRF560 s odporem přechodu elektrod DS v sepnutém stavu $44\text{ m}\Omega$. Nízká výkonová ztráta těchto tranzistorů snižuje ztrátový výkon na minimum v porovnání s bipolárními tranzistory. Je-li na vstupní elektrodu G připojeno kladné napětí, tranzistor se otevře a umožní průchod proudu příslušným vinutím připojeným ke konektoru L1 až L8.

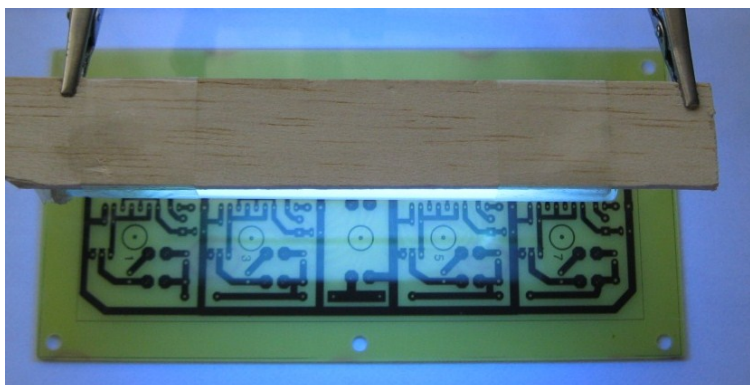
8.2.2 Deska plošných spojů

Deska plošných spojů vytvořená stejně tak jako schéma, v programu Eagle.

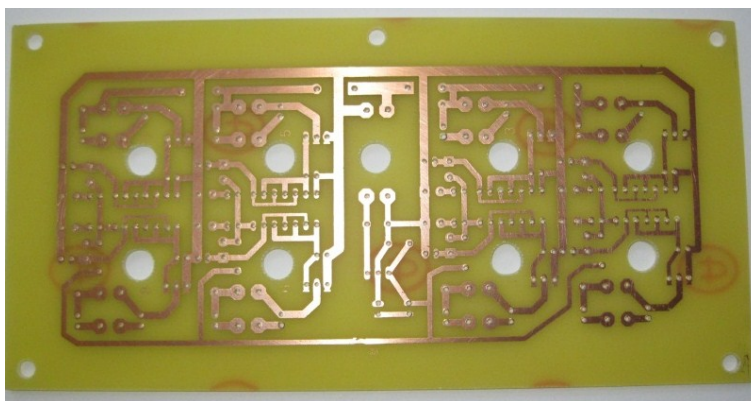


Obr. 8.29 Deska plošných spojů elektronické ho obvodu, z pohledu součástek.

Navržená deska plošných spojů je vyrobena „fotocestou“. Působením zdroje ultrafialového světla dojde ke změně chemické struktury fotocitlivé vrstvy, která se nachází v místech prosvícení průsvitné předlohy DPS. Po rozpuštění osvětlené vrstvy fotocitlivého laku v hydroxidu sodném, byla deska omyta vodou a odleptána v chloridu železitém.



Obr. 8.30 Osvit desky plošných spojů 11W UV zářivkou



Obr. 8.31 Hotová deska po odvrtání otvorů pro vývody součástek a protažení vodičů do dřevěného krycího tunelu

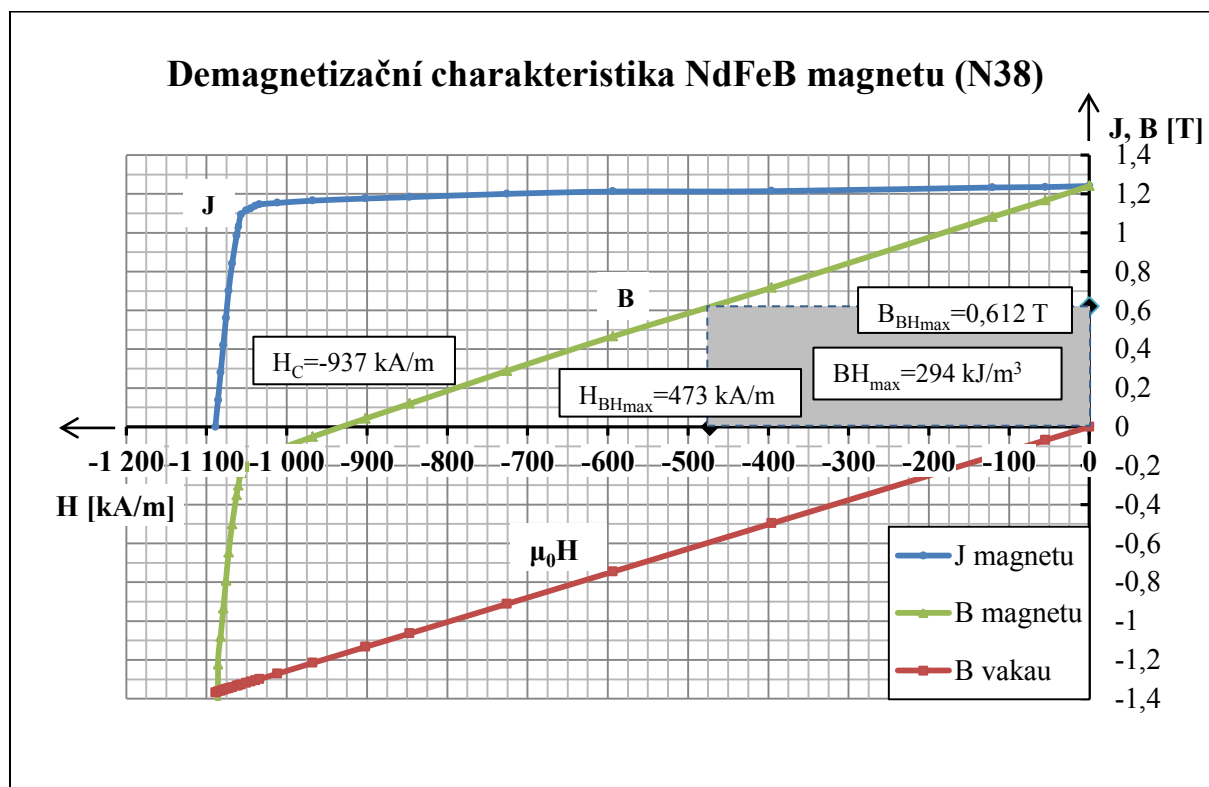
9 Magnetostatická analýza Adamsova motoru

9.1 Výpočet zjednodušeného magnetického obvodu

9.1.1 Feromagnetika v magnetickém obvodu

Permanentní magnety použité rotoru jsou neodymové (Nd-Fe-B) s magnetizací N38 a maximální pracovní teplotě 80°C. Magnety mají tvar válce. Požadovaná výška magnetů je 13 mm a odpovídá příslušnému rozměru okna jader ve statoru. Požadované výšky bylo dosaženo spojením magnetu o výšce 10 mm a magnetu o výšce 3 mm. Magnety mají průměr 15mm.

Demagnetizační charakteristika magnetu je na Obr.



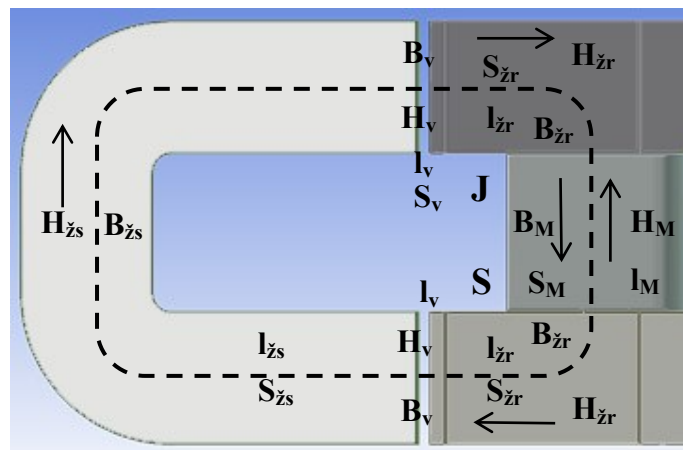
Obr. 9.1 Druhý kvadrant pracovních hysterezních smyček $B(H)$ a $J(H)=B(H)-\mu_0 H$ permanentního magnetu s magnetizací N38, měřeno při 26°C

Magnetická jádra statoru jsou vyrobena z FeSi transformátorového plechu s anizotropní strukturou o jakosti M150-30. Materiál má poměrně nízkou konduktivitu, tedy nízké ztráty vířivými proudy.

Magnetické části rotoru jsou z dynamoplechů izotropní struktury o jakosti M600 - 50.

Výpočet magnetické indukce a intenzity magnetického pole ve vzduchové mezeře mezi rotorovým a statorovým pólem.

Magnetický obvod se skládá z permanentního magnetu, dvou vyniklých pólů rotoru, dvou vzduchových mezer a jádra statoru.



Obr. 9.2 Magnetický obvod s permanentním magnetem

Pro **střední indukční čáru**, naznačenou v magnetickém obvodu přerušovanou čarou, platí podle první Maxwellovy rovnice v integrálním tvaru

$$H_M l_M + H_{zr} l_{zr} + H_v l_v + H_{zs} l_{zs} = 0 \quad (19)$$

kde indexy značí: _M permanentní magnet, _{zr} železo rotoru, _v vzduchovou mezeru a _{zs} železo statoru.

Železo rotoru (dynamoplechy) a železo statoru (transformátorové plechy) jsou feromagneticky měkké materiály. Pro zjednodušení výpočtu předpokládáme, že jejich permeability $\mu_{zr}, \mu_{zs} \rightarrow \infty$, tj. jejich magnetické odpory a tedy i magnetická napětí $U_{zr} = H_{zr} l_{zr}$ a $U_{zs} = H_{zs} l_{zs}$ jsou zanedbatelně malé, takže pro **intenzitu magnetického pole ve vzduchové mezeře** platí

$$H_v \approx -H_M \frac{l_M}{l_v} \quad (20)$$

Pro magnetický indukční tok permanentního magnetu platí

$$\Phi_M = \tau \Phi_v \quad (21)$$

kde τ je **činitel rozptylu ve vzduchové mezeře** a jestliže k rozptylu toku nedochází, tak $\tau = 1$.

Magnetický indukční tok ve vzduchové mezeře je vyjádřen

$$\Phi_v = B_v S_v \quad (22)$$

Pro magnetický indukční tok permanentního magnetu platí

$$\Phi_M = B_M S_M \quad (23)$$

takže **magnetická indukce ve vzduchové mezeře** je

$$B_v = \frac{\Phi_v}{S_v} = \frac{\Phi_M}{\tau S_v} = \frac{B_M S_M}{\tau S_v} \quad (24)$$

odtud

$$H_v = \frac{\Phi B_v}{\mu_0} = \frac{B_M S_M}{\mu_0 \tau S_v} \quad (25)$$

Z rovnosti rovnic (19) a (24)

$$-H_M \frac{l_M}{l_v} = \frac{B_M S_M}{\mu_0 \tau S_v} \quad (26)$$

lze vyjádřit **magnetickou indukci permanentního magnetu** jako

$$B_M = -\mu_0 \tau \frac{l_M S_M}{l_v S_v} H_M = -N_d H_M \quad (27)$$

kde veličina N_d je tzv. **demagnetizační činitel**, pro nějž platí

$$N_d = \mu_0 \tau \frac{l_M S_M}{l_v S_v} \quad (28)$$

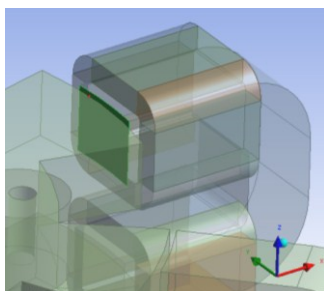
Pro dosažení do (24) je zapotřebí stanovit hodnotu činitele rozptylu magnetického toku ve vzduchové mezeře. Stanovíme odhadem ($\tau = 0,8$).

Pro dosažení do (24) je dále zapotřebí stanovit průřez magnetu. Při průměru 15 mm je

$$S_M = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi (15 \cdot 10^{-3})^2}{4} = \underline{1,766 \cdot 10^{-4} \text{ m}} \quad (29)$$

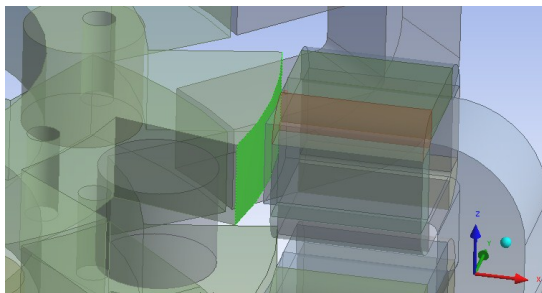
Průřez vzduchové mezery mezi statorem a rotorem vypočteme jako aritmetický průměr průřezu pólu jádra statoru a průřezu vyniklého pólu rotoru. Skutečné průřezy pólu statoru a rotoru lze jednoduše odečíst z virtuálního modelu v DesignModeleru Ansysu, jak je naznačeno na Obr.9.3 a na Obr.9.4.

Průřez pólu statorového jádra S_s je dle DesignModeleru 143,28 mm².



Obr. 9.3 Po označení plochy jádra statoru, vypočte DesignModeler její průřez

Průřez vyniklého pólu rotoru S_R je dle DesignModeleru 291,28 mm².



Obr. 9.4 Po označení plochy vyniklého pólu rotoru, vypočte DesignModeler jeho průřez

Po dosazení průřezů je aritmetický průměr průřezu vzduchové mezery

$$S_v = \frac{S_S + S_R}{2} = \frac{143,28 \cdot 10^{-3} + 291,28 \cdot 10^{-3}}{2} = 2,173 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Výška použitého magnetu je dána součtem výšek dvou na sobě umístěných magnetů 10mm a 3 mm, tedy $l_M=13 \text{ mm}$.

Řešený magnetický obvodu obsahuje dvě vzduchové mezery o velikosti 1 mm. Celková délka vzduchové mezery je dána součtem těchto dvou délek, tedy $l_V=2 \text{ mm}$.

Dosazení všech potřebných hodnot do rovnice (24) vypočítáme demagnetizační činitel

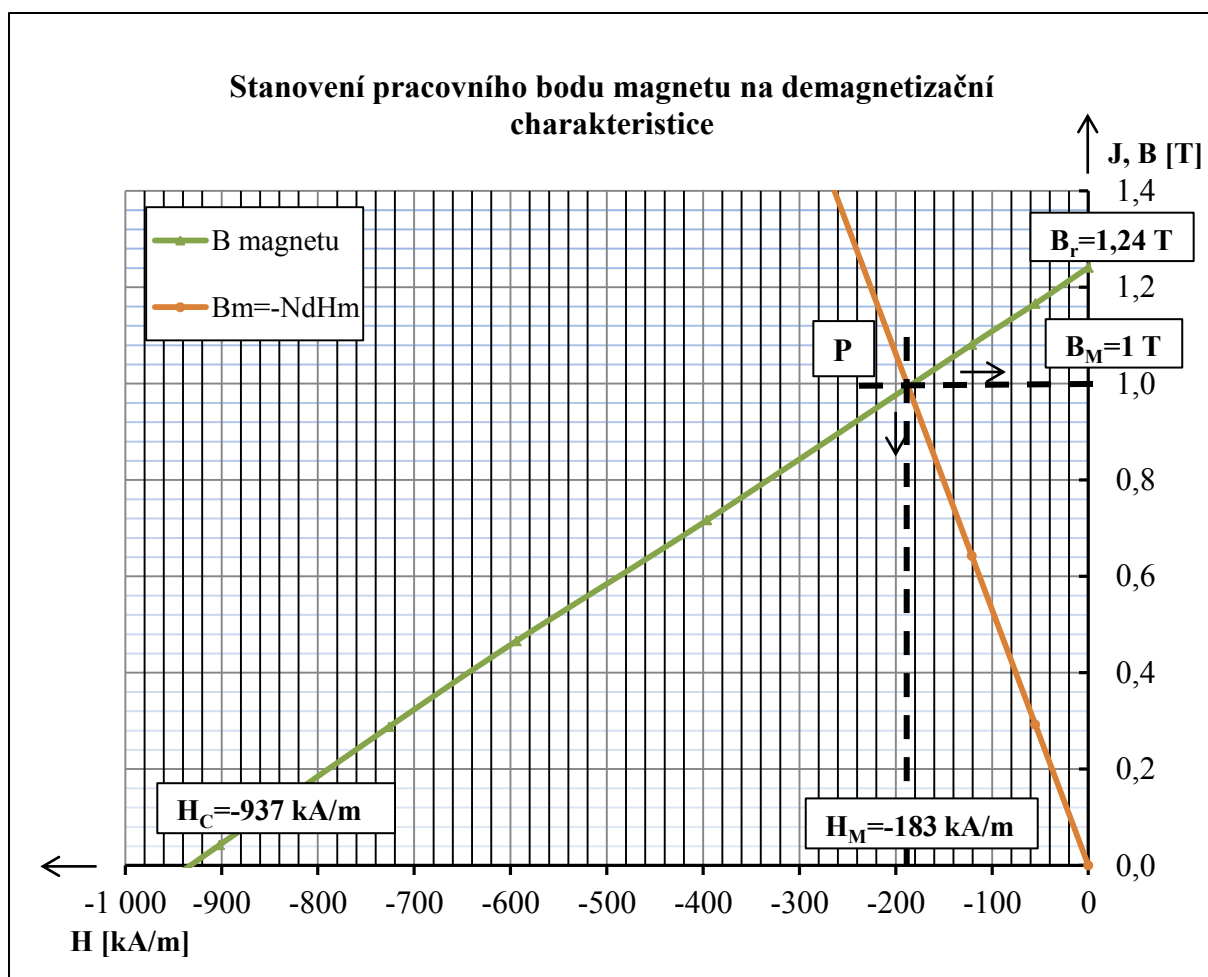
$$N_d = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 0,8 \cdot \frac{13 \cdot 10^{-3} \cdot 1,766 \cdot 10^{-4}}{2 \cdot 10^{-3} \cdot 2,173 \cdot 10^{-4}} = 5,31 \cdot 10^{-6} \quad (30)$$

Dosazením demagnetizačního činitele do rovnice pro magnetickou indukci magnetu (26), získáme rovnici přímky

$$B_M = -5,31 \cdot 10^{-6} H_M \quad (31)$$

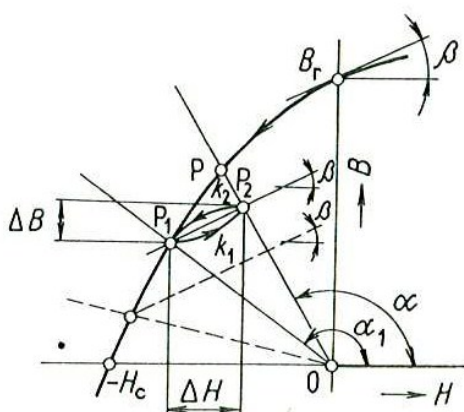
jejíž průsečík s demagnetizační křivkou permanentního magnetu na Obr.xx stanoví pracovní bod permanentního magnetu.

Z grafu na Obr. 9.5 je možné odečíst hodnotu magnetické indukce permanentního magnetu v pracovním bodu $B_M=1 \text{ T}$ a odpovídající hodnotu intenzity magnetického pole $H_M=1 \text{ T}$



Obr. 9.5 V průsečíku přímky s demagnetizační charakteristikou se nachází pracovní bod P permanentního magnetu v magnetickém obvodu se vzduchovou mezerou

Zvětšením vzduchové mezery v magnetickém obvodu se zvětší demagnetizační činitel N_d , tj. zvětší se směrový úhel přímky z hodnoty α na hodnotu α_1 a pracovní bod P se posune do polohy P_1 jak je naznačeno na Obr.9.6.



Obr. 9.6 V průsečíku přímky s demagnetizační charakteristikou se nachází pracovní bod permanentního magnetu

Zmenší-li se opět vzduchová mezera na původní velikost, nevrátí se pracovní bod P_1 do své původní polohy v bodě P, ale do polohy P_2 po křivce k_2 . Smyčka složená z křivek k_1 a k_2 je malá hysterezní smyčka. Přibližně ji můžeme nahradit úsečkou $P_1 P_2$, svírající s osou H úhel β . Pohybuje-li se pracovní bod po malé hysterezní smyčce, jde vratné změny, tj. zanikne-li příčina posuvu pracovního bodu, vrací se pracovní bod do své původní polohy. Pohyb pracovního bodu po hlavní hysterezní smyčce je nevratný. K podobným jevům dochází, když místo změn vzduchové mezery působíme na permanentní magnet magnetickým polem, které zvětšuje nebo zmenšuje jeho tok. Všechny další pohyby pracovního bodu probíhají přibližně po přímce $P_1 P_2$, pokud směrový úhel α nepřestoupí hodnotu úhlu α_1 . Překročí-li tuto hodnotu, pohybuje se pracovní bod opět po hlavní hysterezní smyčce a při návratu zpět k původní hodnotě úhlu α přechází na novou „malou hysterezní smyčku vyznačenou na Obr.xx čárkovaně. [20]

Magnetická indukce ve vzduchové mezeře

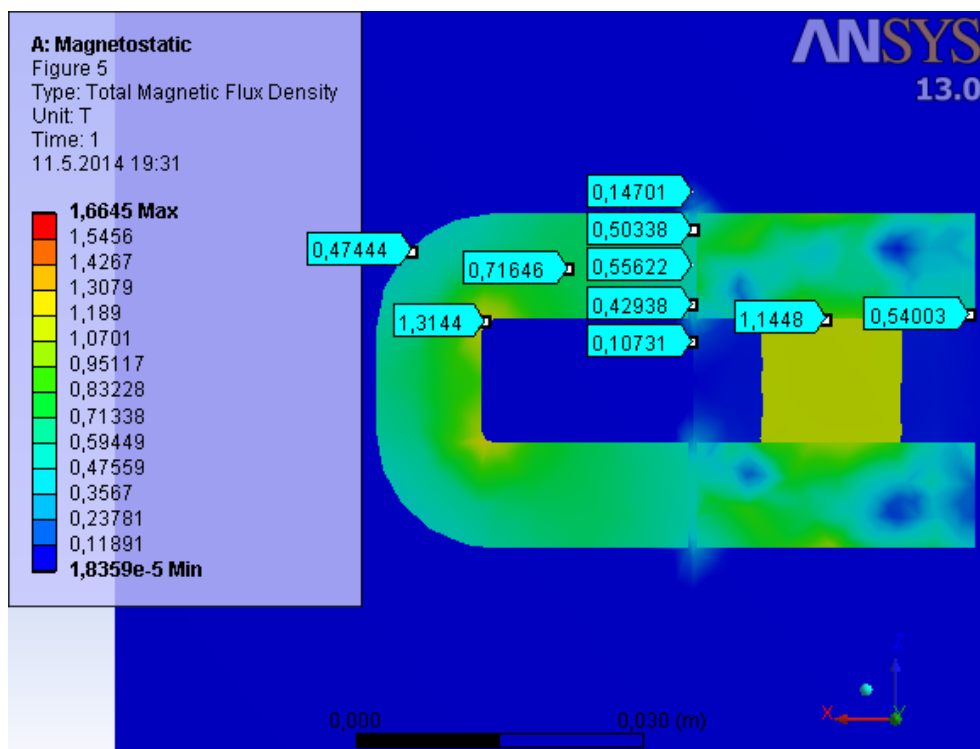
$$B_v = \frac{B_M S_M}{\tau S_v} = \frac{1 \cdot 1,766 \cdot 10^{-4}}{0,8 \cdot 2,173 \cdot 10^{-4}} = \underline{0,677 \text{ T}} \quad (32)$$

Intenzita magnetického pole ve vzduchové mezeře

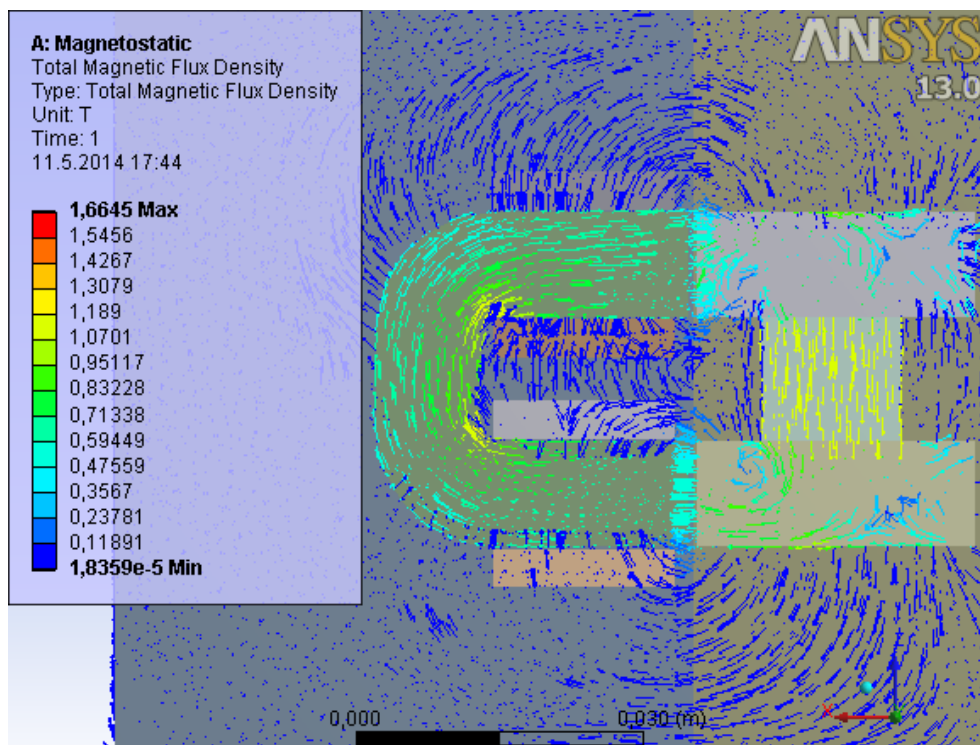
$$H_v = \frac{B_v}{\mu_0} = \frac{0,677}{4\pi \cdot 10^{-7}} = \underline{538,739 \text{ kA/m}} \quad (33)$$

9.2 Výpočet magnetického obvodu v ANSYS Workbench

Magnetická indukce - boční pohled do řezu pólu statoru a rotoru

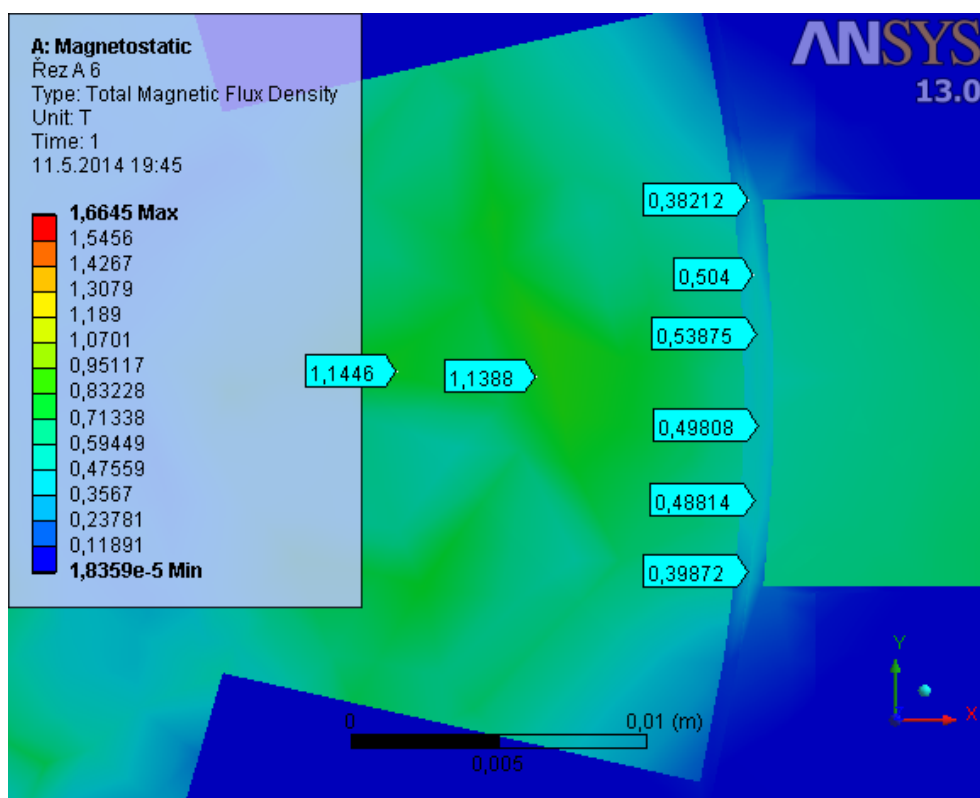


Obr. 9.7 Pohled na rozložení magnetické indukce v obvodu při $I=0A$

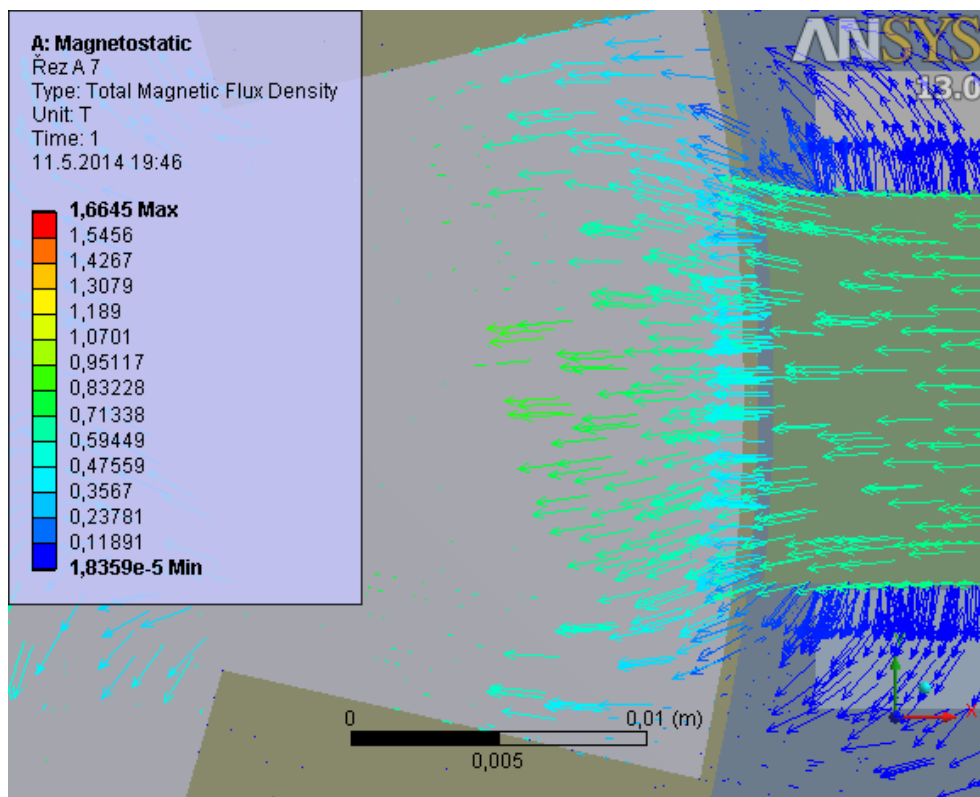


Obr. 9.8 Zobrazení vektorů magnetické indukce při $I=0A$

Magnetická indukce - horní pohled do řezu pólu statoru a rotoru

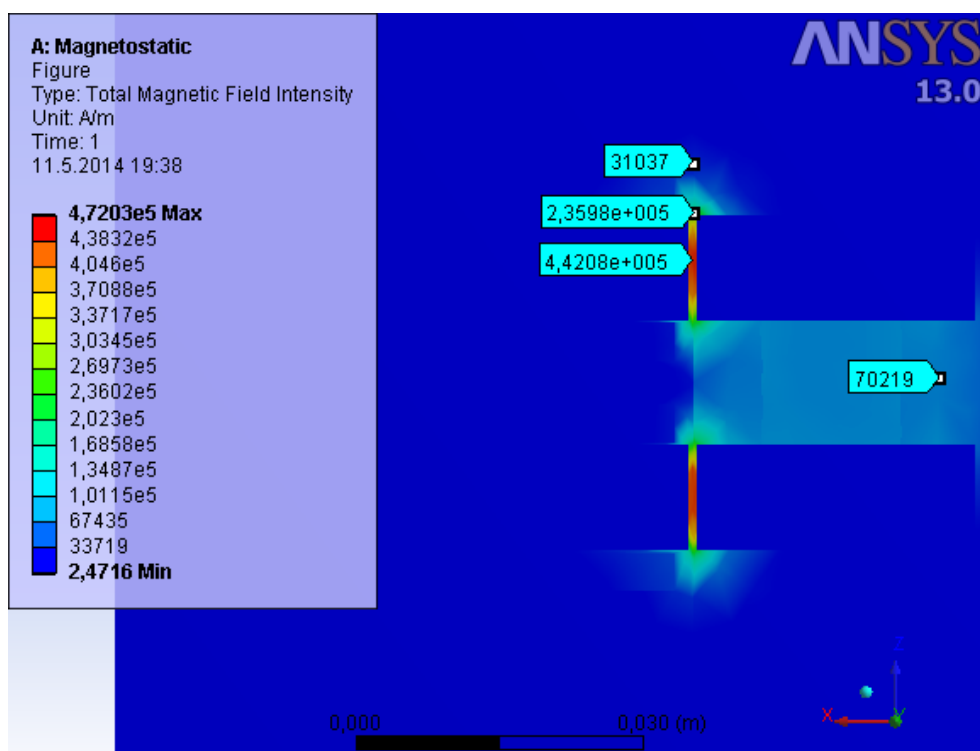


Obr. 9.9 Rozložení magnetické indukce při $I=0A$

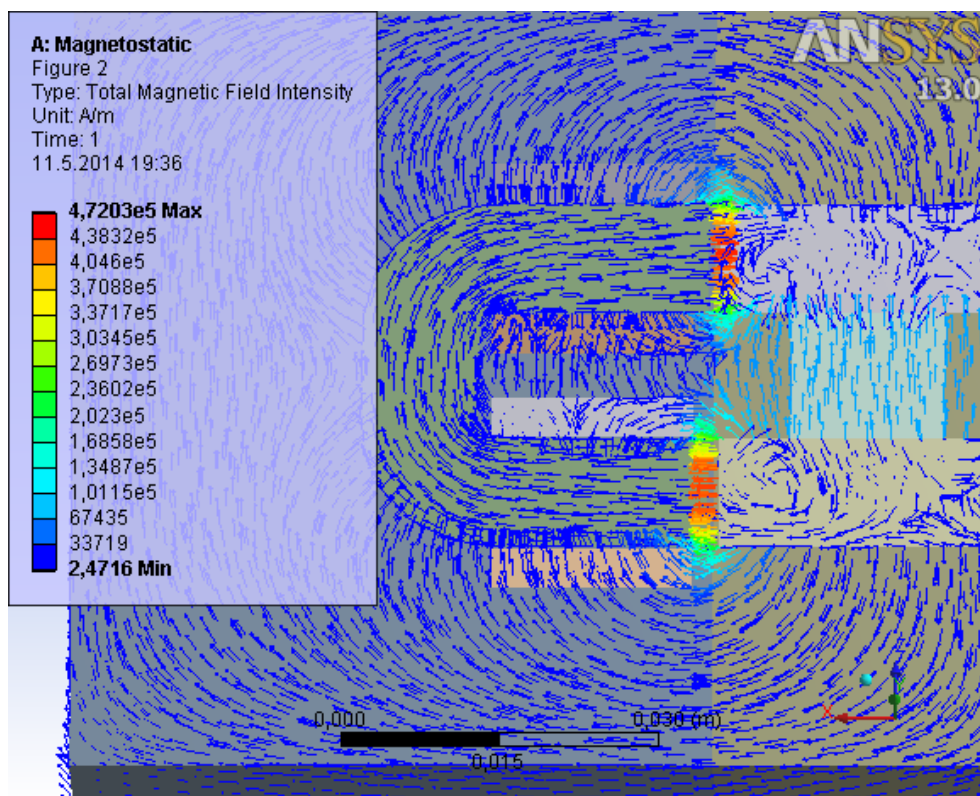


Obr. 9.10 Zobrazení vektorů magnetické indukce při $I=0A$

Intenzita magnetického pole - boční pohled do řezu pólu statoru a rotoru

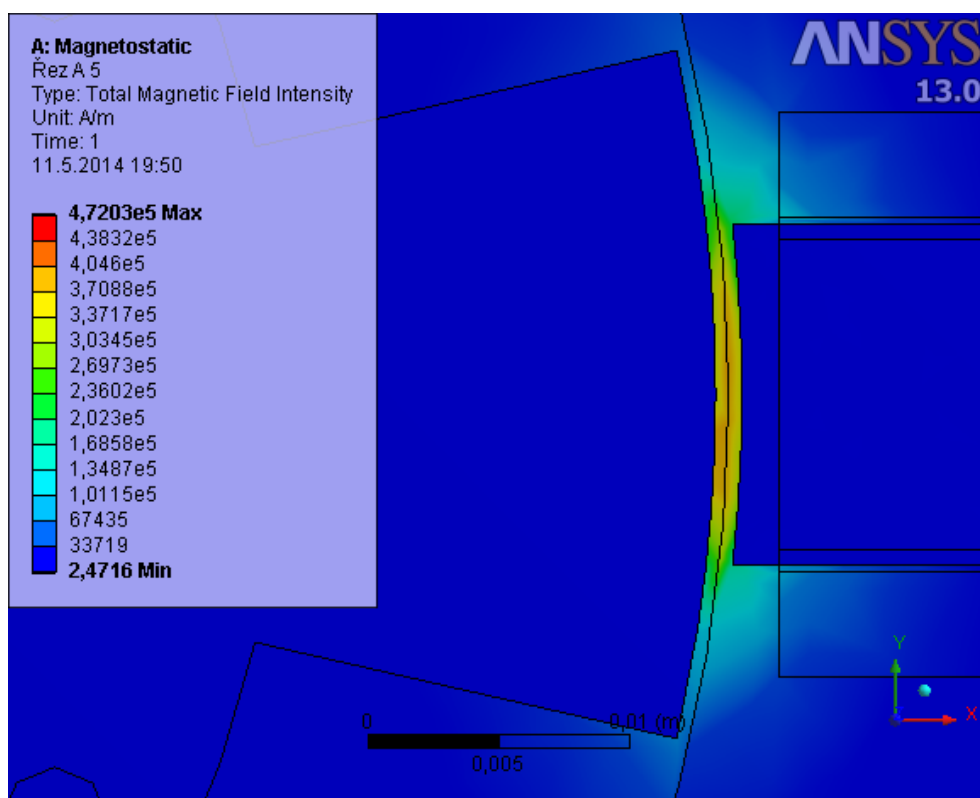


Obr. 9.11 Rozložení intenzity magnetického pole při $I=0A$

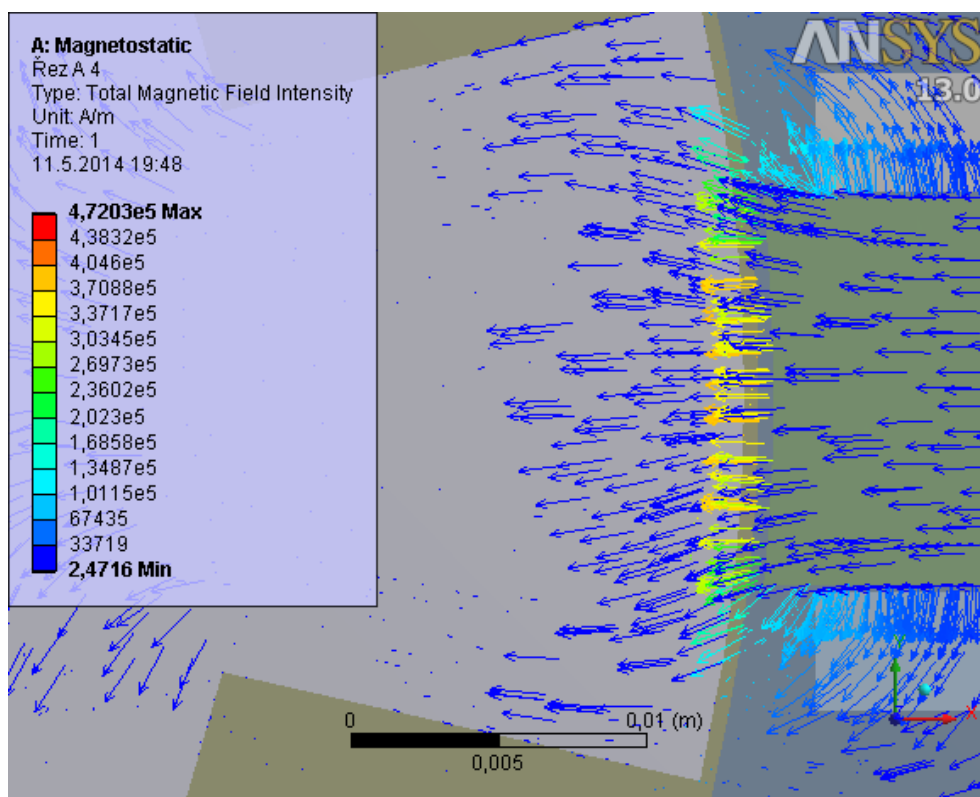


Obr. 9.12 Zobrazení vektorů intenzity magnetického pole při $I=0A$

Intenzita magnetického pole - horní pohled do řezu pólu statoru a rotoru

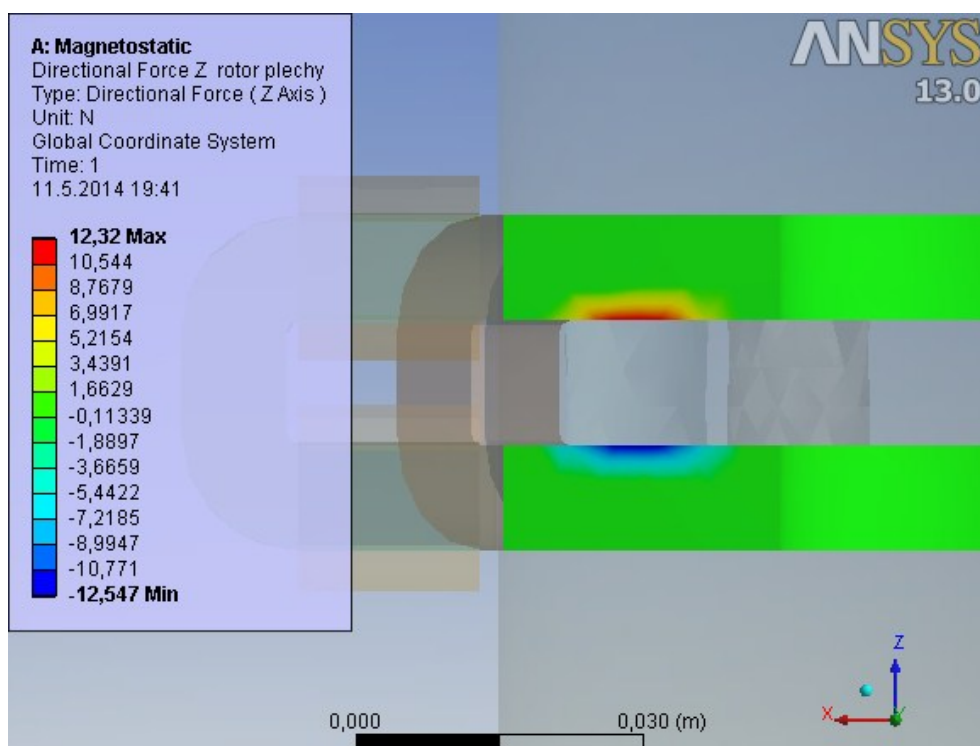


Obr. 9.13 Rozložení intenzity magnetického pole při $I=0A$



Obr. 9.14 Zobrazení vektorů intenzity magnetického pole při $I=0A$

Rozložení síly působící na póly rotoru vlivem přitažné síly permanentního magnetu

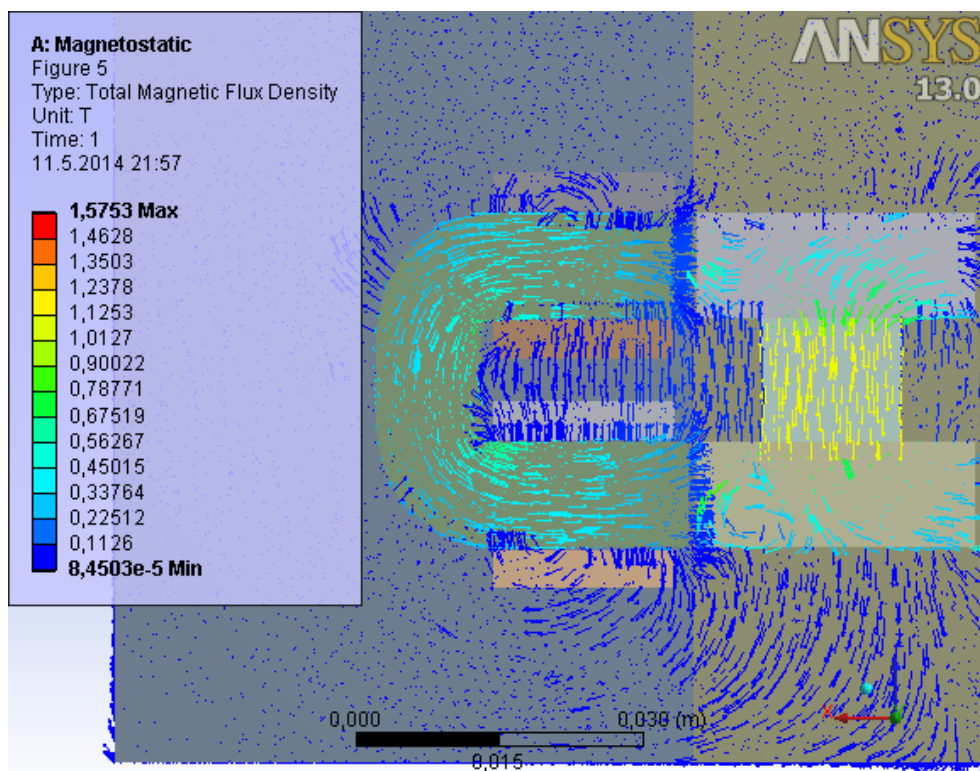


Obr. 9.15 Síla mezi póly rotoru

Přitažlivá síla mezi póly rotoru v místě magnetu, je dána rozdílem maximální a minimální hodnoty sil.

$$F_z = 12,32 - (-12,47) = \underline{24,87 \text{ N}} \quad (34)$$

Magnetická indukce při proudu 1 A - boční pohled do řezu pólu statoru a rotoru při



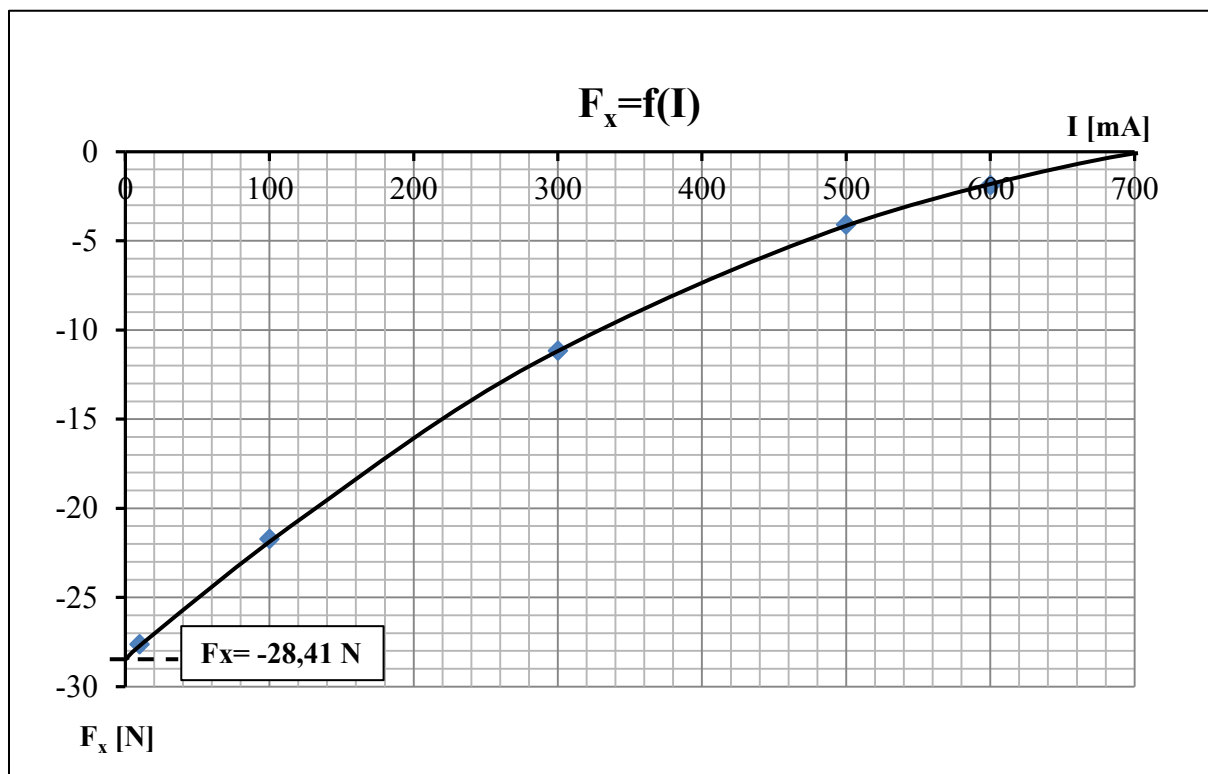
9.2.1 Rozběh motoru

Úkolem je nalézt nejmenší hodnotu proudu tekoucího vinutím statorového jádra, při které dojde k rozběhu motoru. Vycházíme z toho, že přítažná síla působící na jedno jádro statoru, které je v zarovnané pozici s vyniklými póly rotou, musí být vlivem proudu tekoucího vinutím.

Proud by měl mít takovou velikost, aby v jádru statoru vybudil magnetický tok opačné polarity oproti magnetickému toku vystupujícího z protějšího vyniklého pólu rotoru. A to s takovými silovými účinkly, aby byl došlo k pootočení rotoru do pozice, ve které se vedlejší vyniklé póly rotoru začnou přitahovat k vedlejšímu statorovému jádru. Celý proces se poté opakuje i u dalších jader.

Střední hodnota proudu tímto vinutím se během rozběhu motoru snižuje, až na konstantní hodnotu. Dojde k ustálení otáček a doby průchodu proudu jednotlivými vinutími.

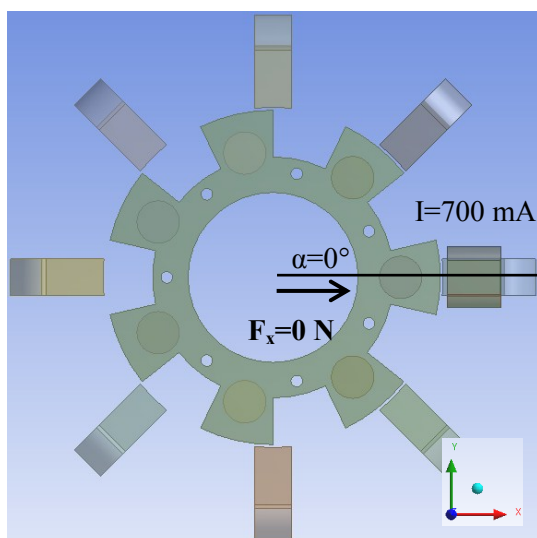
Na Obr. je graf průběhu síly působící na jádro statoru ve směru osy x, při změně velikosti proudu tekoucího vinutím.



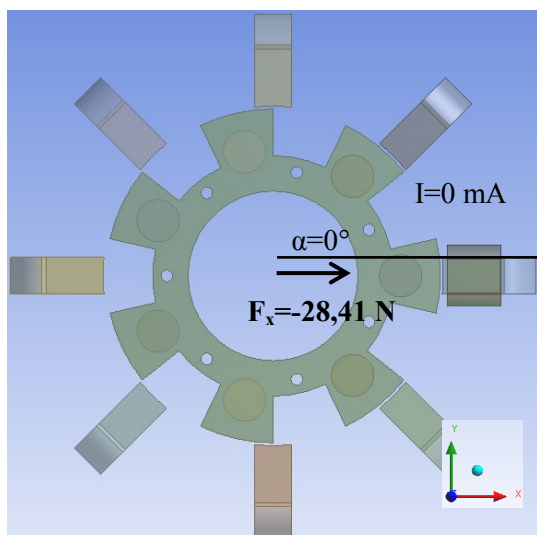
Obr. 9.16 Průběh síly při změně proudu

Z Obr.9.19 je zřejmé, že nulové síly v ose x na jádro statoru, bude dosaženo při proudu 700 mA. Tudiž proud větší než 700 mA vyvolá odpuzení rotorových pólů a celý proces se opakuje i u ostatních statorových jader.

Na Obr. je názorně vidět zarovnaný vyniklý pól rotoru s jádrem ve statoru

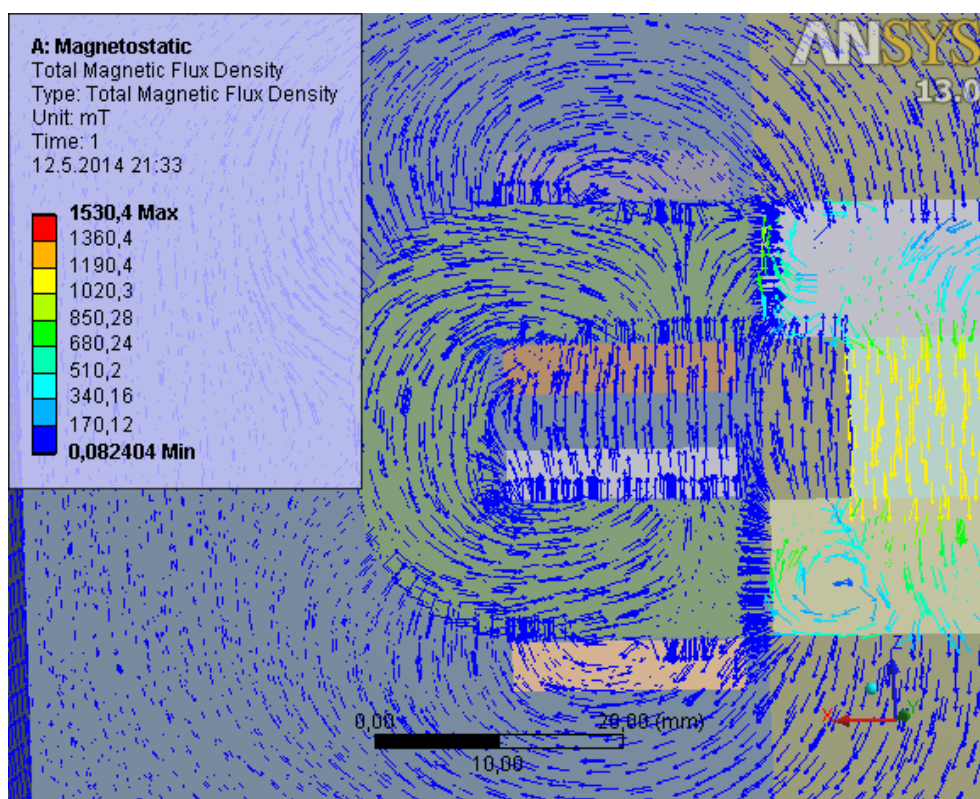


Obr. 9.17 Zarovnání vyniklého pólu rotoru se statorovým jádrem při nulové síle na magnetické jádro

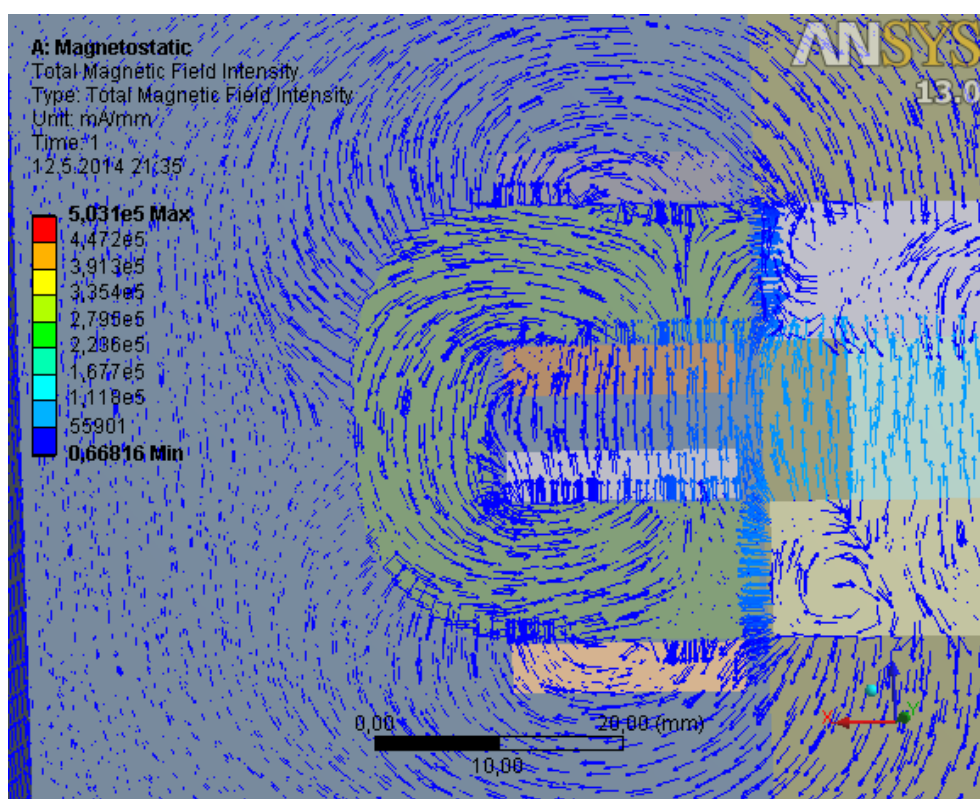


Obr. 9.18 Zarovnání vyniklého pólu rotoru s jádrem ve statoru bez přítomnosti proudu

Prochází-li vinutím proud 700mA působí na magnetické jádro ve směru osy x nulová síla. Rozložení magnetické indukce je na Obr.



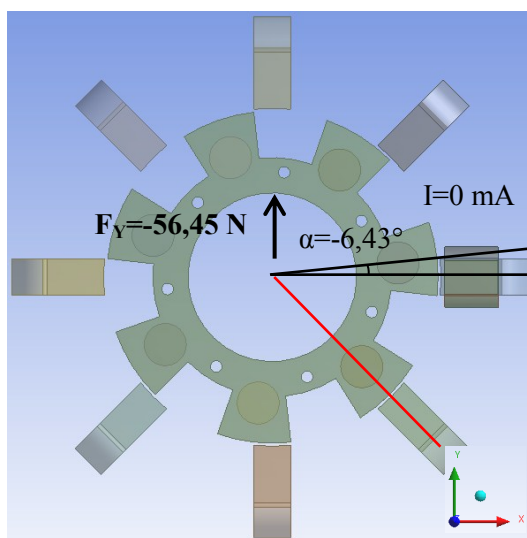
Obr. 9.19 Rozložení indukce v obvodu, při proudu tekoucím vinutí 700mA



Obr. 9.20 Zarovnání vyniklého pólu rotoru s jádrem ve statoru při proudu tekoucím vinutí 700mA

9.2.2 Průběhy sil působící na rotor během pootočení

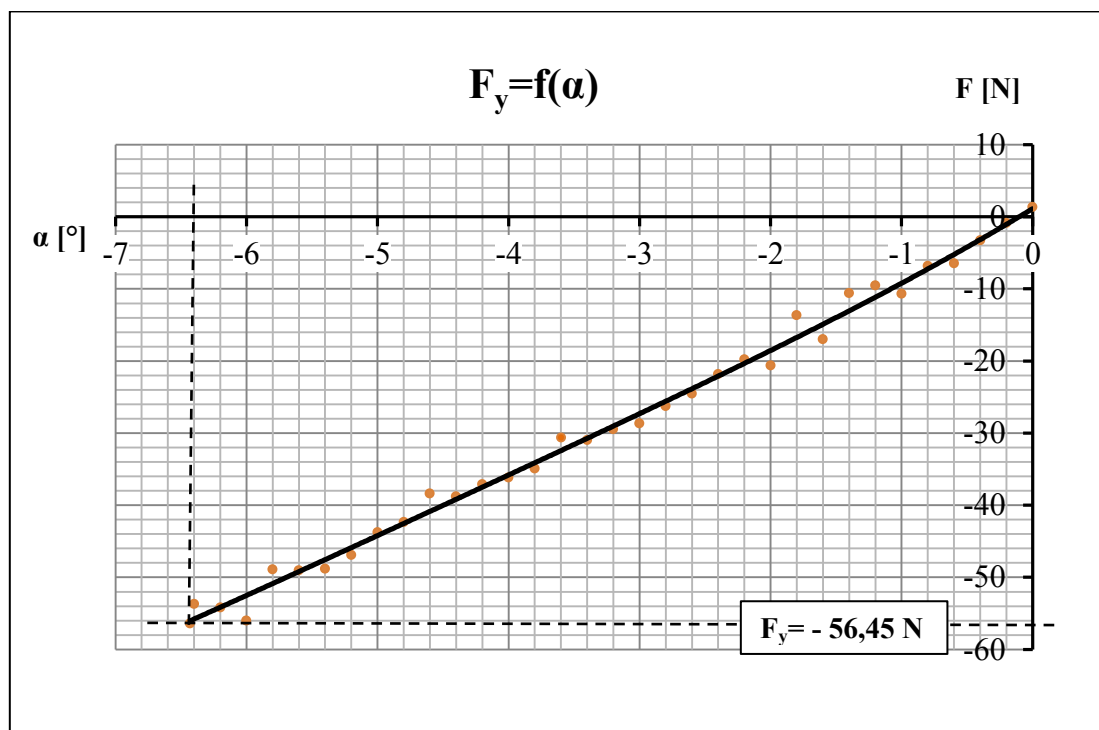
Na obr. je osa jádra (v pravém rohu) zarovnána s osou vyniklého pólu rotoru (vyznačeno červeně) a následující vyniklý pól rotoru je oproti statorovému jádru (vpravo) pootočen o úhel $\alpha = -6,43^\circ$.



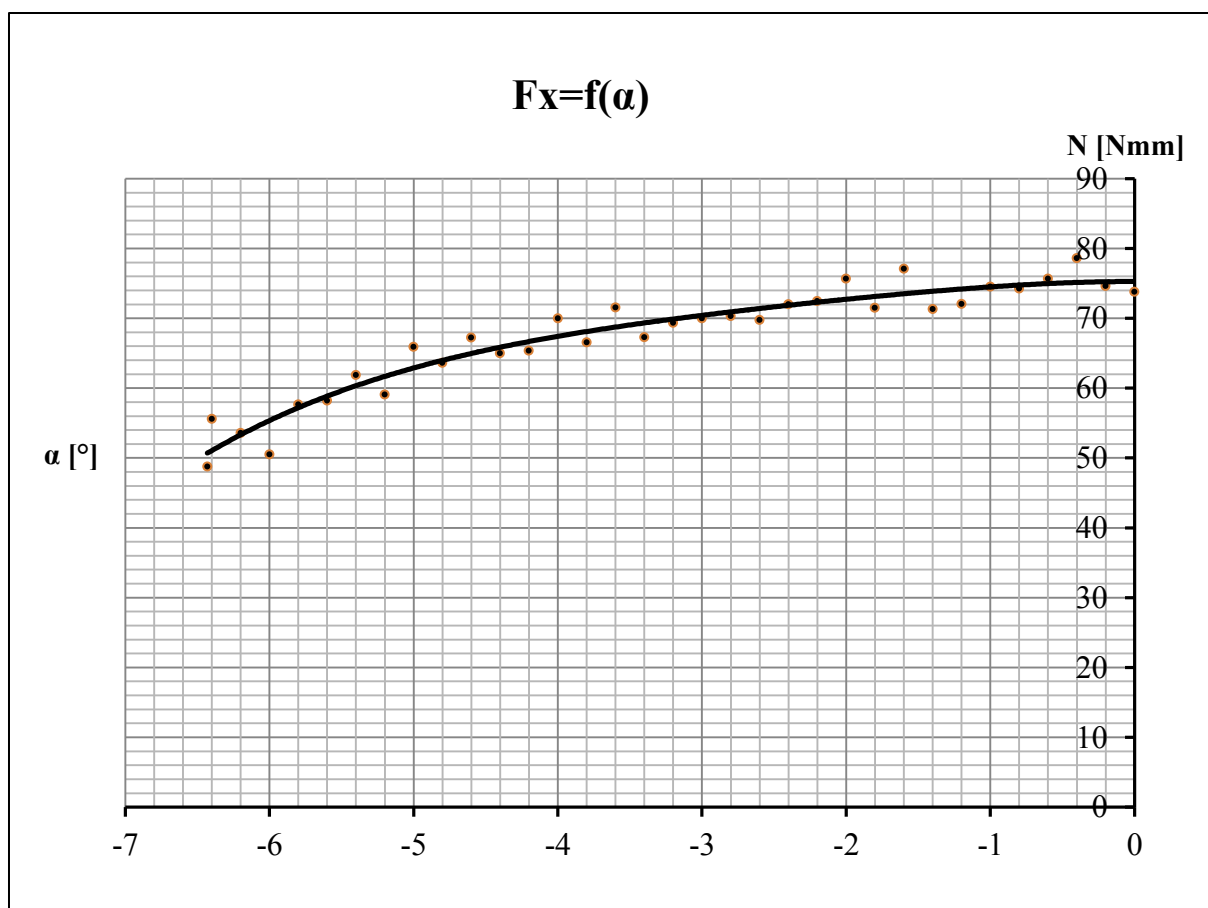
Obr. 9.21 Při pootočení rotoru o úhel $\alpha = -6,43^\circ$, působí na rotor síla ve směru $F_y = -56,45 \text{ N}$

Průběh síly v ose y, působící na rotor během natáčení proti směru hodinových ručiček mezi úhly pootočení v mezích $\alpha = -6,43^\circ$ až 0°

Hodnoty jsou vypočítány v Ansysu s krokem $0,2^\circ$ a proloženy přímkou.



Obr. 9.22 Průběh síly v ose y působící na rotor během pootočení od $-6,43^\circ$ do 0° a vyznačené hodnoty síly v ose y působící na rotor pro hodnoty natočení úhlu $\alpha = -6,43^\circ$ a -5°



Obr. 9.23 Průběh síly působící na rotor v ose y během pootočení od $-6,43^\circ$ do 0° a vyznačené hodnoty síly v ose y působící na rotor pro hodnoty natočení úhlu $\alpha = -6,43^\circ$ a -5°

10 Měření na realizovaném motoru

V Tab.10.1 jsou hodnoty odporu jednotlivých vinutí měřené při 20 °C.

Tab. 10.1 Hodnoty odporů vinutí.

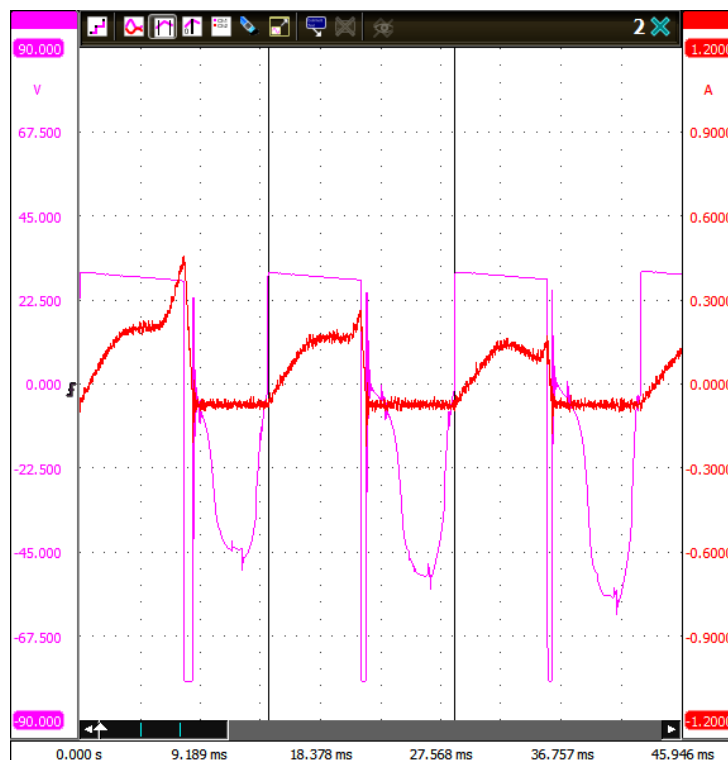
R_{c1}	R_{c2}	R_{c3}	R_{c4}	R_{c5}	R_{c6}	R_{c7}	R_{c8}	$\overline{R_c}$
[Ω]	[Ω]	[Ω]	[Ω]	[Ω]	[Ω]	[Ω]	[Ω]	[Ω]
20,3	20,3	20,5	20,2	20,4	20,5	20,2	20,3	20,34

Časové průběhy napětí a proudu byly naměřeny pomocí profesionálního dvoukanálového USB osciloskopu Handyscope HS3 s parametry uvedenými v tabulce Tab.10.2. Spojením osciloskopu s PC bylo možné pomocí napěťové a proudové sondy naměřit časové průběhy napětí a proudu. Použitá proudová sonda disponuje maximálním rozlišením 100 mV/A.

Tab. 10.2 Vlastnosti Osciloskopu Handyscope HS3

Vstup	Výstup
max. vzorkovací frekvence: 100MS/s	vzorkovací frekvence: 50MS/s
volitelné rozlišení: 12-16 bitů	rozlišení: 12 bitů
maximální napětí: 200V	napětí: 0 \pm 12 V
impedance: 1M Ω /20pF	maximální proud: 0,5 A DC

Na Obr. 10.1 je zachycen časový průběh napětí a proudu, změřený na jednom z osmi vinutí statoru při napětí 30V a mechanické zátěži $M_z = 0,15$ Nm.



Obr. 10.1 Změřené průběhy napětí a proudu na vinutí během zatížení momentem 0,15Nm

Hodnoty proudu změřené osciloskopem jsou posunuty o stejnosměrnou složku směrem do záporných hodnot. Tato chyba znehodnocuje naměřené výsledky proudu uvedené v tabulce a vznikla z neznámé příčiny jako důsledek nastavení citlivosti proudové sondy na hodnotu 100mV/A.

Tab. 10.3 Hodnoty naměřené osciloskopem Handyscope HS3

U_{\max}	U_{\min}	U_{p-p}	U_{ef}	$U_{stř}$	Δt
[V]	[V]	[V]	[V]	[V]	[ms]
29,58	-79,96	109,92	34,01	-0,983	14,19
I_{\max}	I_{\min}	I_{p-p}	I_{ef}	$I_{stř}$	f
[mA]	[mA]	[mA]	[mA]	[mA]	[Hz]
264,59	-227,6	492,19	113,75	24,21	70,48

Na Obr. je vidět vysokonapěťová špička opačné polaroty vzhledem k napájecímu napětí, která dosahuje hodnoty -79,96 V. Vzniká důsledkem náhlého přerušení dodávky proudu do obvodu cívky. Magnetické pole vytvořené v magnetickém obvodu se po přerušení dodávky proudu, který jej vybudil, snaží zabránit své změně a zachovat proud v elektrickém obvodu, čímž zpětně do elektrického obvodu vinutí indukuje vysoké napětí opačné polaroty. Dochází ke zpětné indukci napětí do elektrického obvodu. Tento děj vyjadřuje druhá Maxwellova rovnice o zákonu elektromagnetické indukce v diferenciálním tvaru vyjádřeném vztahem.

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \quad (35)$$

Na Obr. je též patrný zákmit napětí na konci záporné napěťové špičky. Tento zákmit je způsoben parazitní kapacitou vinutí. Časová konstanta s jakou děj odeznění je dána RLC parametry obvodu.

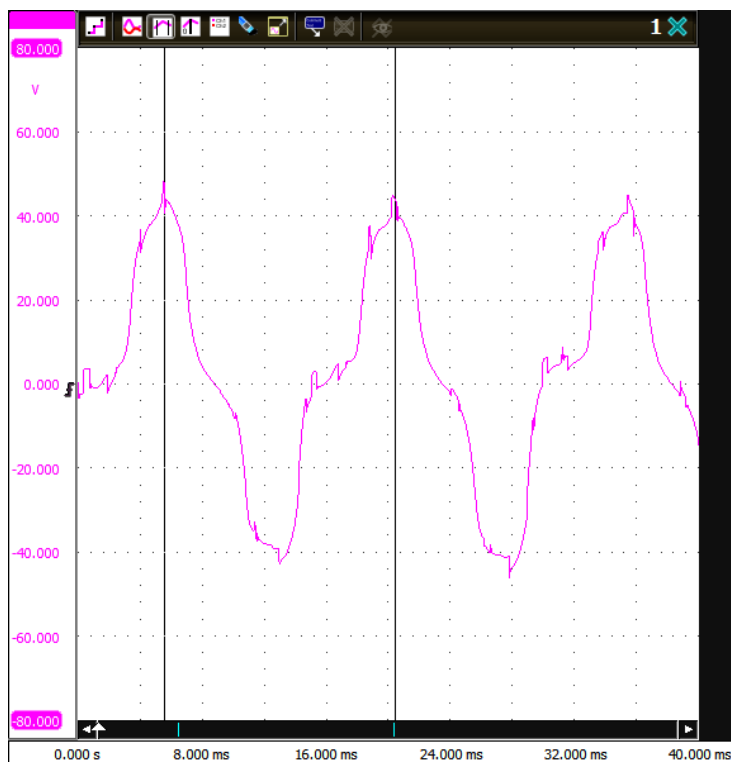
Každý způsob provedení vinutí má své charakteristické vlastnosti, především vlastní kapacitu vinutí. V praxi se např. požadavek na snížení vlastní kapacity vinutí u transformátorů realizuje dvěma způsoby:

- a) zmenšení napěťového rozdílu mezi vrstvami, popř. sekcemi vinutí nebo zmenšením vzájemné kapacity těchto částí jejich oddělením
- b) snížením dielektrické konstanty konstrukčních materiálů, využitím vhodných izolantů pro izolaci vodičů

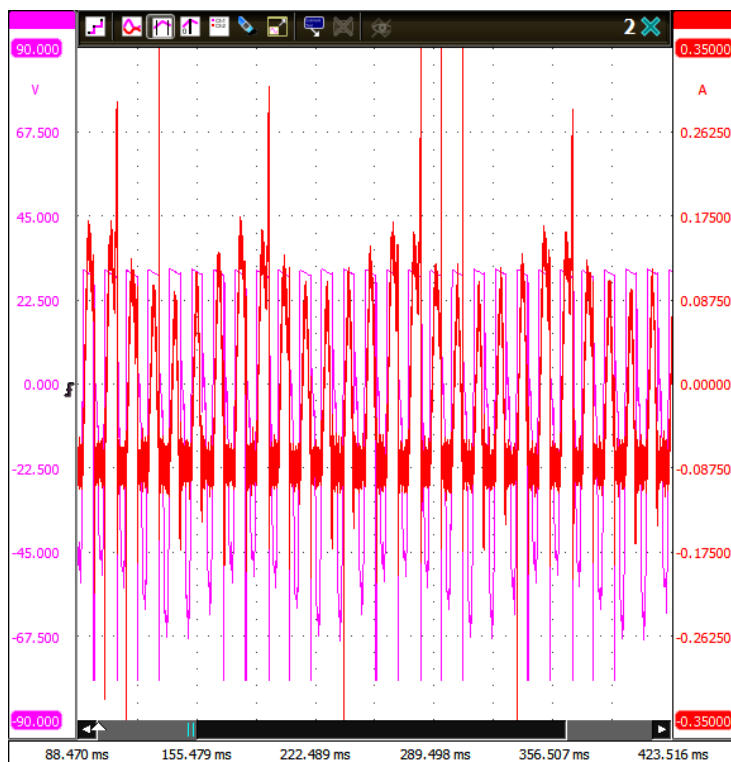
Nejvíce možností nabízí první varianta, jež se uplatňuje u hrázového, křížového i kotoučového vinutí. Obvykle není účelné ani hospodárné dělit vinutí více než na tři komory. Čím nižší bude celkový činitel vinutí, tím menší bude kapacita vinutí. Impregnací vinutí se vlastní kapacita vinutí zvyšuje asi o 30 až 50 %. V případě spojení jednoho vývodu vinutí s magnetickým jádrem se vlastní kapacita vinutí zvětší přibližně o 20 %. [19]

Za zápornou vysokonapěťovou špičkou a zákmitem napětí způsobeným parazitní kapacitou v obvodu, je vidět na Obr. půlperioda sinusového průběhu napětí záporné polarity. Toto napětí je v obvodu indukováno díky průchodu magnetického toku vystupujícího z vyniklých pólů rotoru během otáčení. Magnetický tok vystupuje z pólů rotoru a uzavírá se přes jádro statoru, čímž v jeho vinutí indukují napětí.

Na Obr.10.2 záznam sinusového průběhu napětí indukovaného ve vinutí statorového jádra, které bylo odpojeno od napájení.



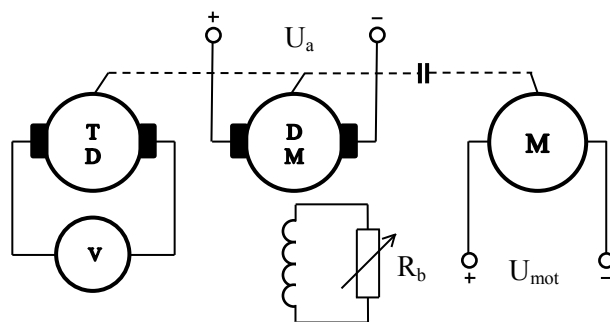
Obr. 10.2 Časový průběh napětí indukovaného ve vinutí během otáčení rotoru.



Obr. 10.3 Časový průběh napětí a proudu při napětí 30 V a zatížení momentem 0,05 Nm

10.1 Měření základních charakteristik

Motor byl pro změření charakteristik spojen s cize buzeným dynamometrem. Možnost regulace zátěžného momentu změnou odporu kotvy dynamometru a velikostí budícího proudu, umožnila naměřit průběh momentových, mechanických a rychlostních charakteristik. Spojení hřídele s tachodynamem navíc umožnilo měřit indukované napětí během jednotlivých měření a vypočítat z něj otáčky. Na Obr.10.4 je schematicky naznačena soustava dynamometru a motoru pro měření zatěžovací charakteristiky motoru.



Obr. 10.4 Soustava pro měření zatěžovacích charakteristik motoru

Pro změření základních charakteristik potřebných pro výpočet účinnosti motoru byl využit cize buzený dynamometr s $I_{a,b}=5\text{ A}$ (10).

10.2 Výpočet účinnosti

Pro příklad výpočtu dosadíme do uvedených vztahů hodnoty veličin, při nichž vyšla účinnost motoru maximální.

Jelikož proud tekoucí do vinutí je stejnosměrný, stanovíme příkon motoru součinem napětí zdroje o konstantní velikosti 31 V s proudem tekoucím obvodem.

$$P_1 = U \cdot I \quad (36)$$

Po dosazení

$$P_1 = 31 \cdot 0,86 = \underline{26,66\text{ W}} \quad (37)$$

Výkon motoru je roven

$$P_2 = M \cdot \omega \quad (38)$$

přičemž pro úhlovou rychlost vyjádřenou z otáček platí vztah

$$\omega = 2\pi \frac{n}{60} \quad (39)$$

Po dosazení

$$\omega = 2\pi \frac{450}{60} = \underline{47,12 \text{ rad}^{-1}} \quad (40)$$

Výkon je po dosazení úhlové rychlosti

$$P_2 = 0,2 \cdot 47,12 = \underline{9,42 \text{ W}} \quad (41)$$

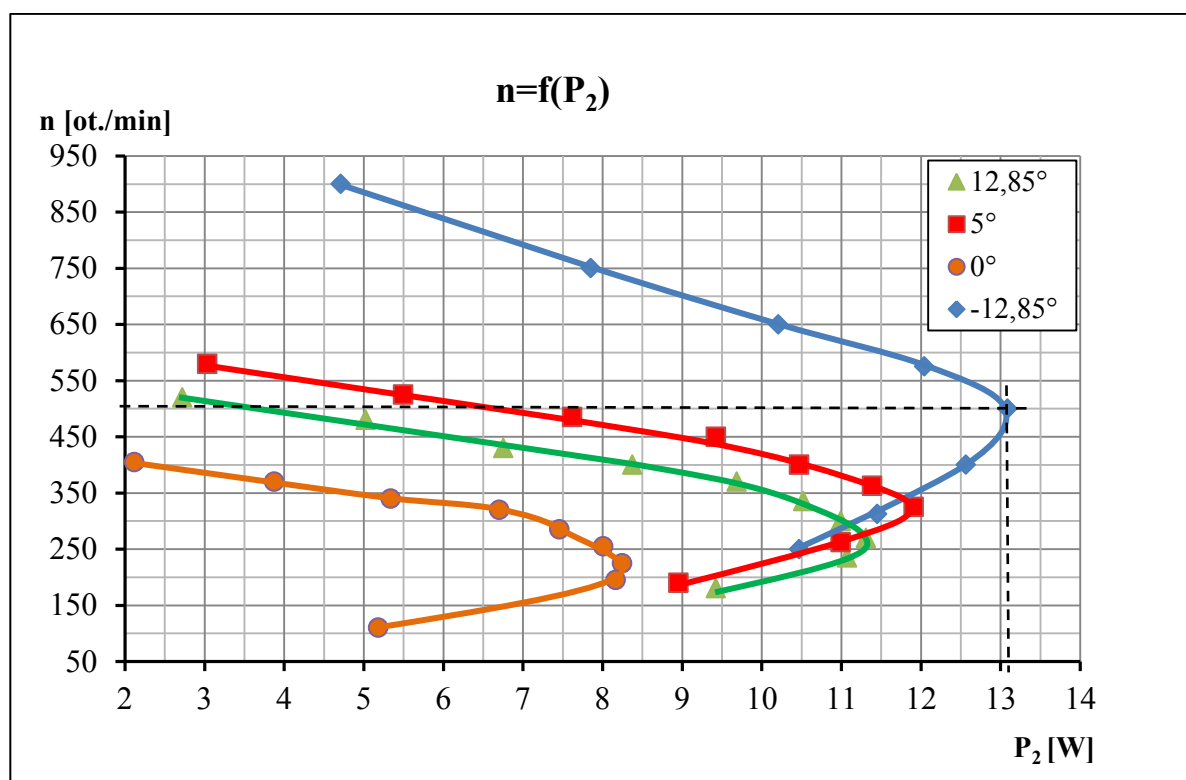
Účinnost motoru, při zanedbání ztrát v elektronickém obvodu je dána výrazem

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100 \quad (42)$$

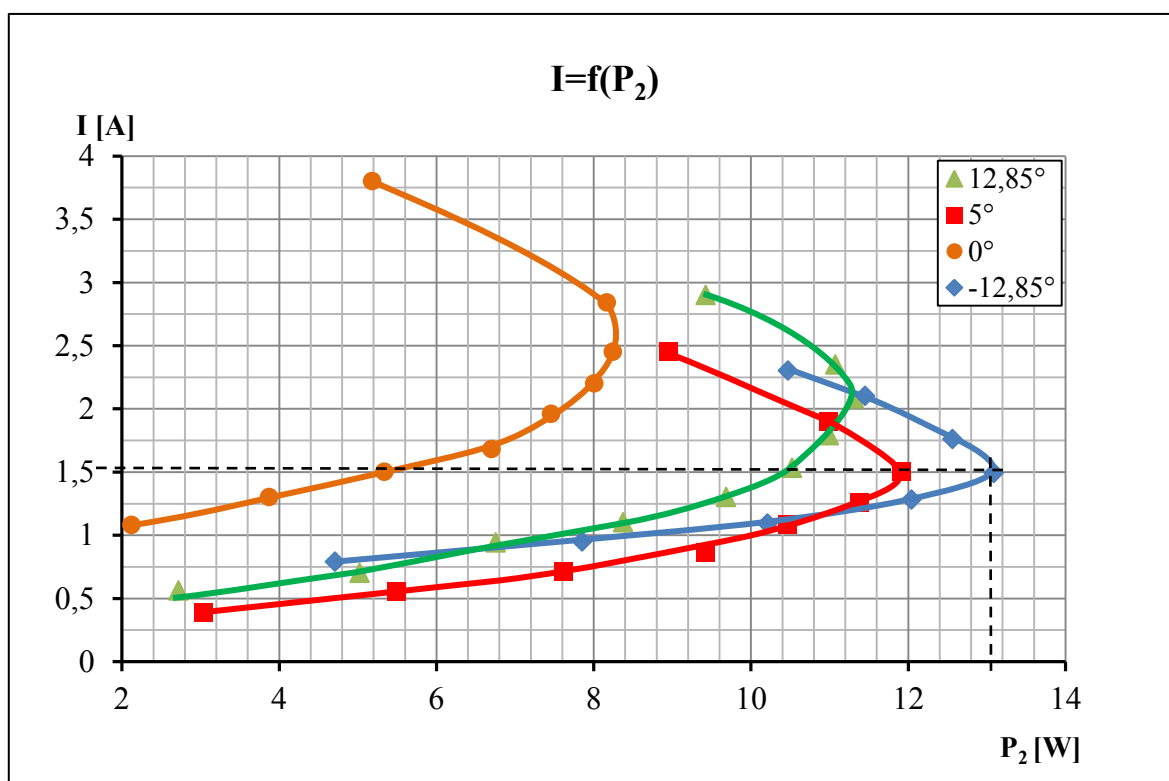
Podílem výkonu a příkonu je výsledná účinnost

$$\eta = \frac{9,42}{26,66} \cdot 100 = \underline{35,33 \%} \quad (43)$$

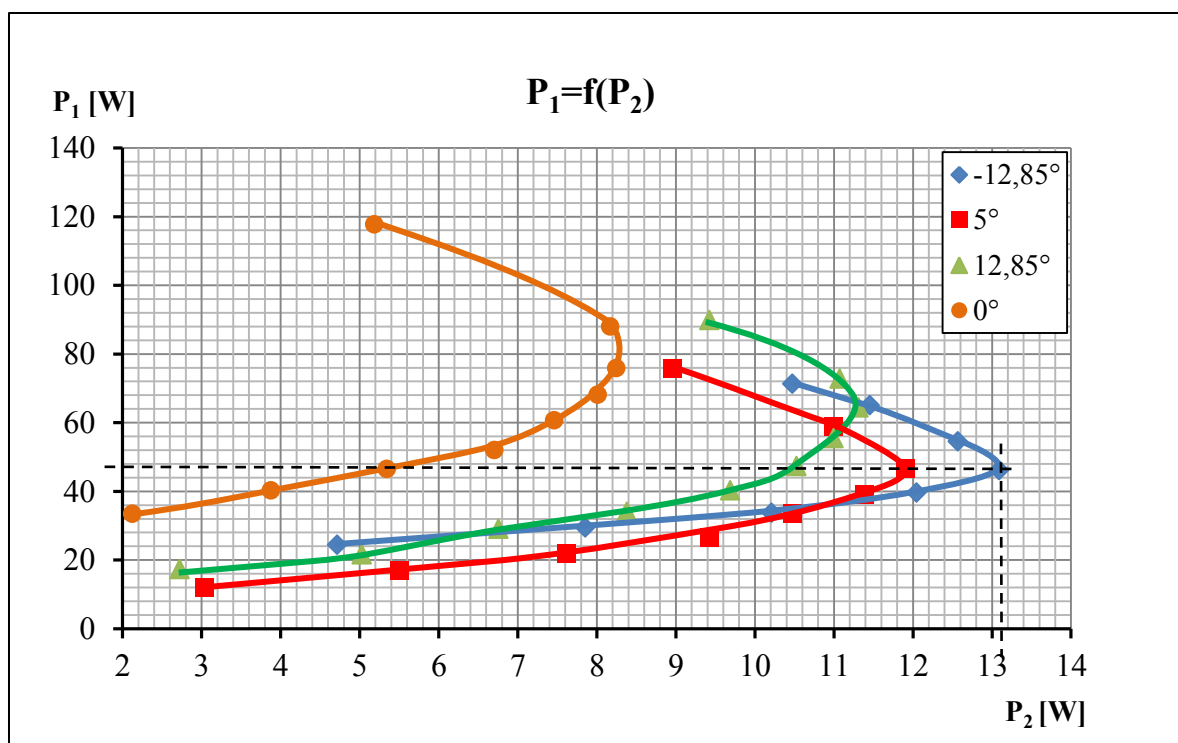
Charakteristiky změřené při změně zátěžného momentu $M=0,05$ až $0,5$ Nm a napětí 31V



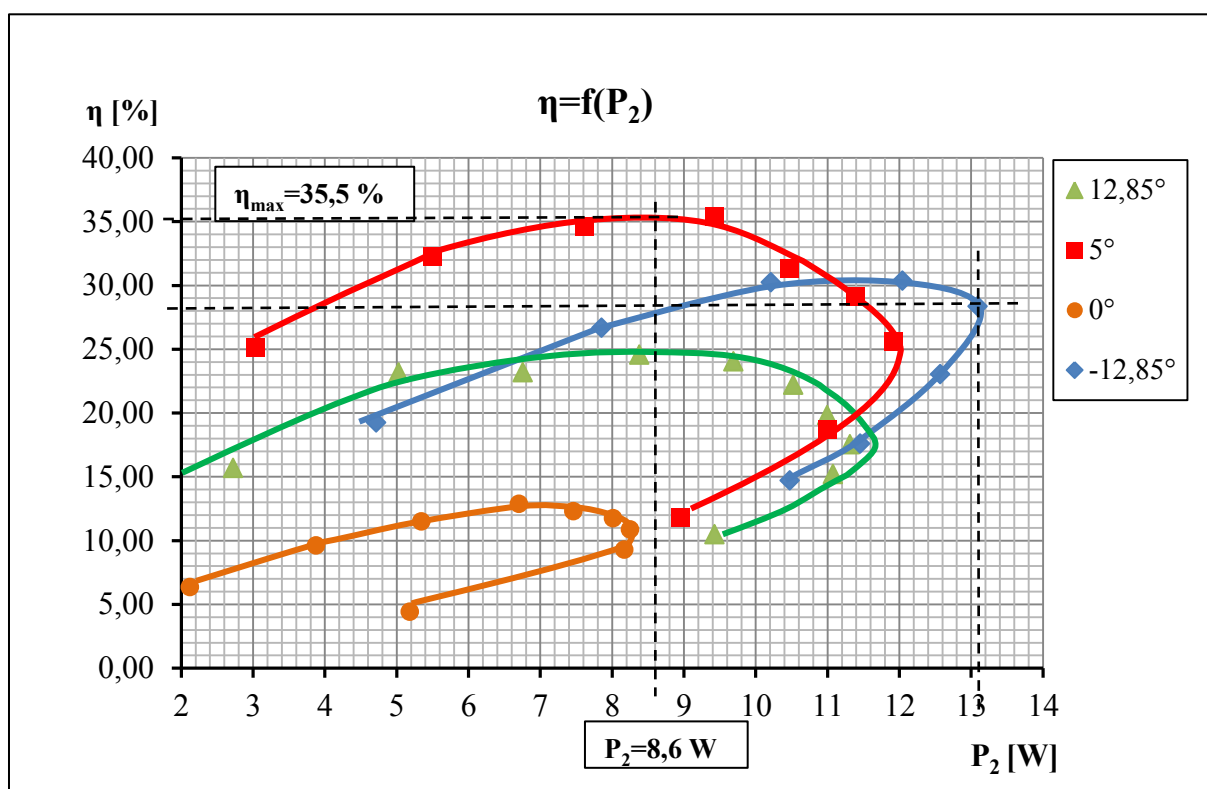
Obr. 10.5 Změna otáček v závislosti na výkonu, při $U=31V$



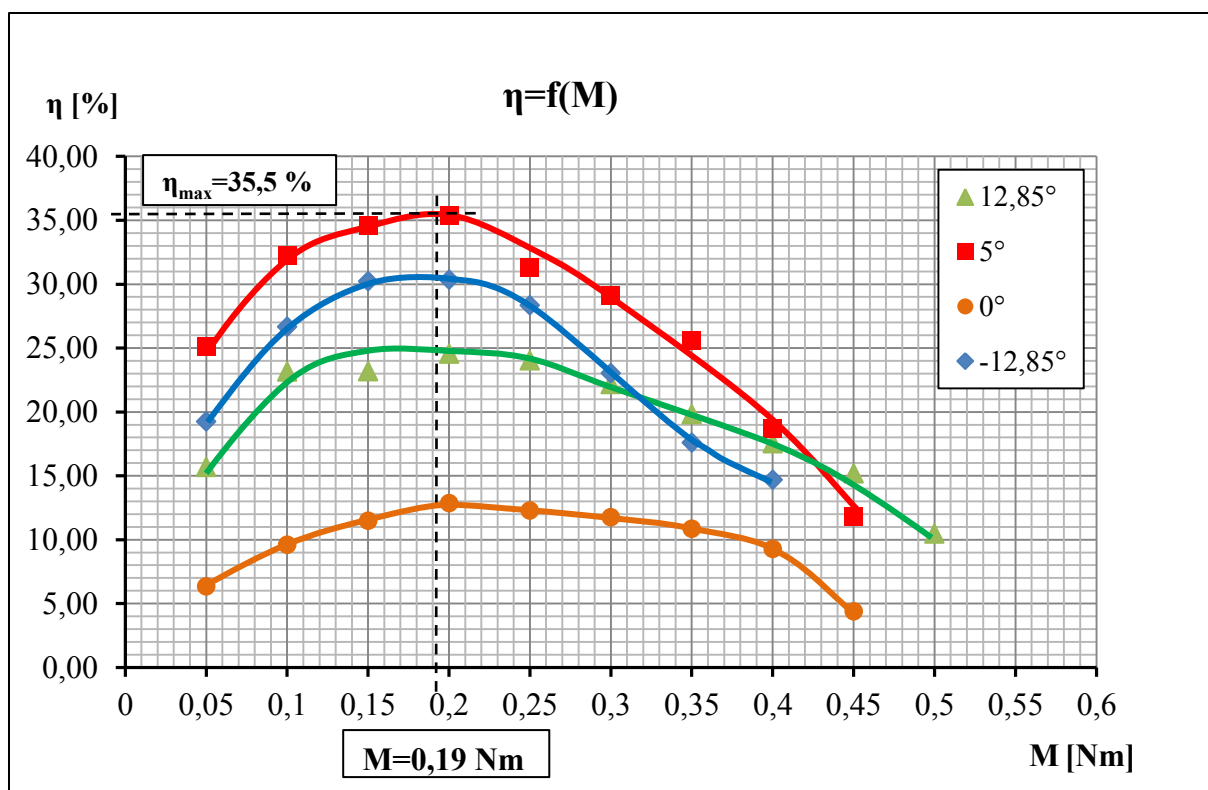
Obr. 10.6 Změna proudu v závislosti na výkonu, při $U=31V$



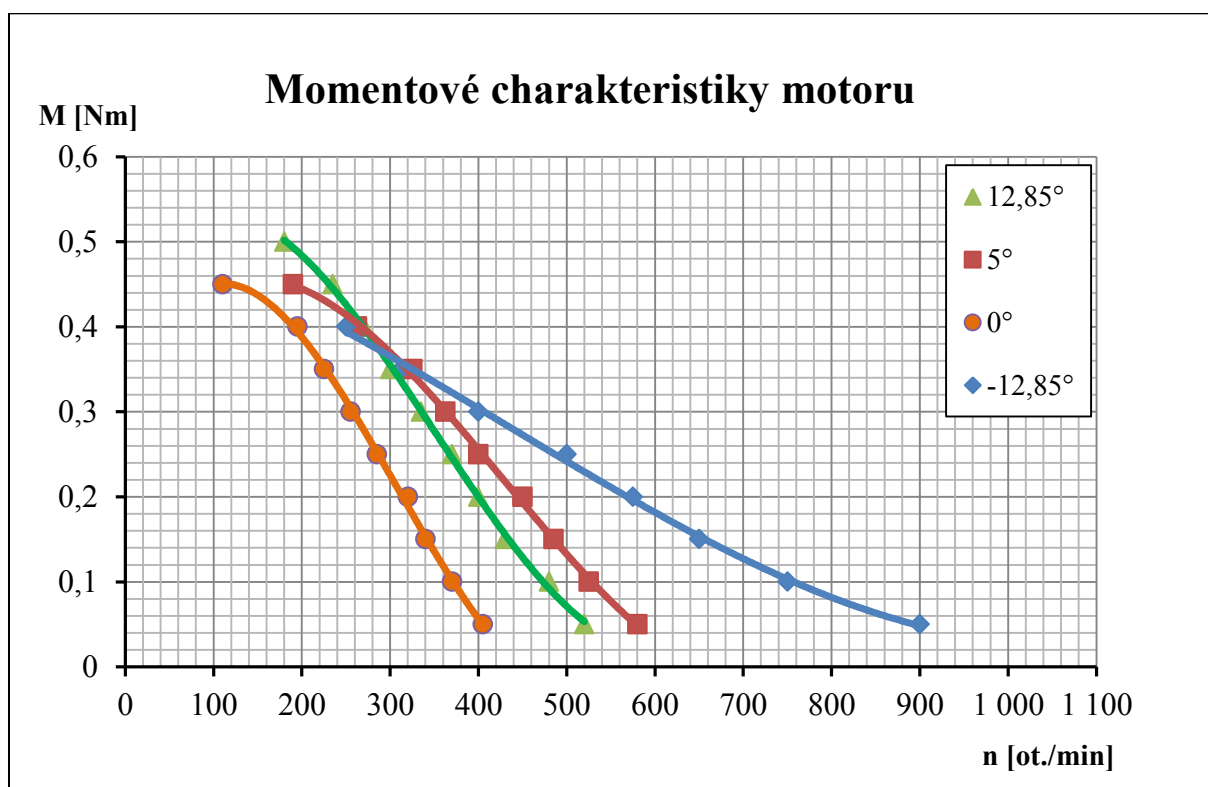
Obr. 10.7 Změna příkonu v závislosti na výkonu, při $U=31V$



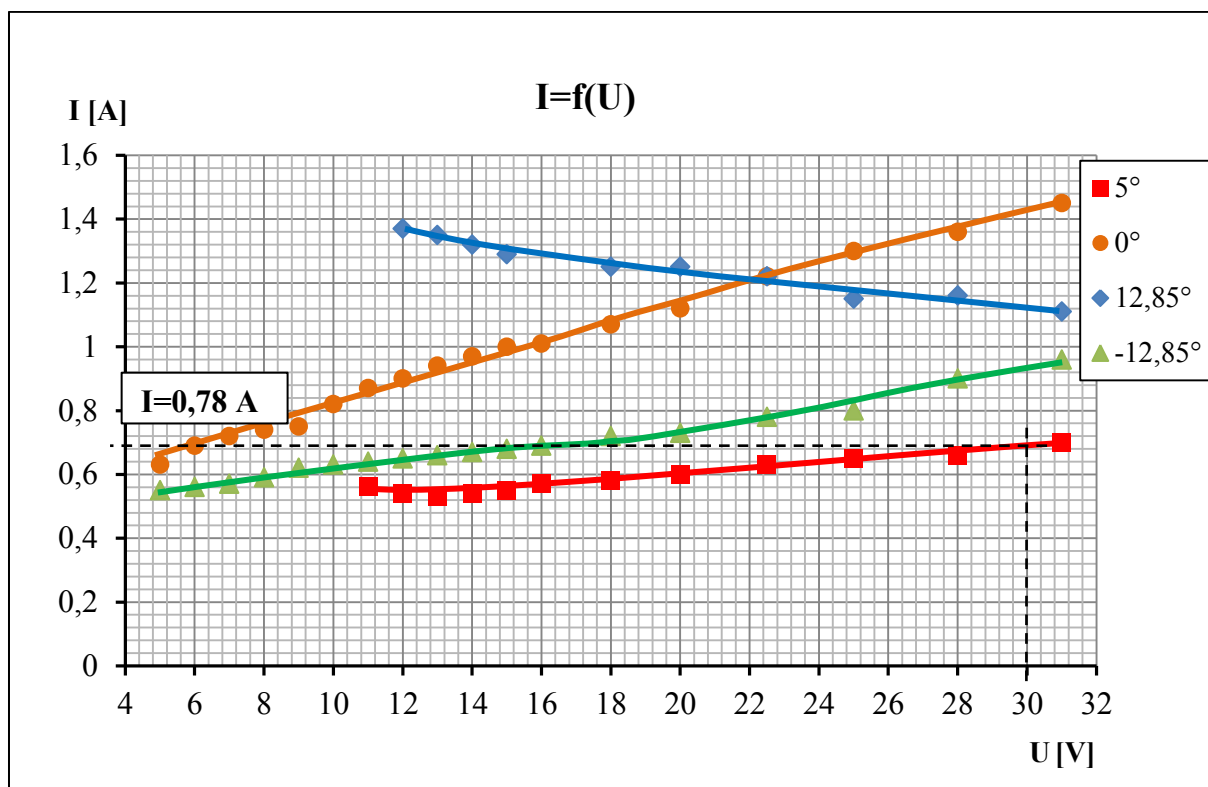
Obr. 10.8 Změna účinnosti v závislosti na výkonu, při $U=31V$



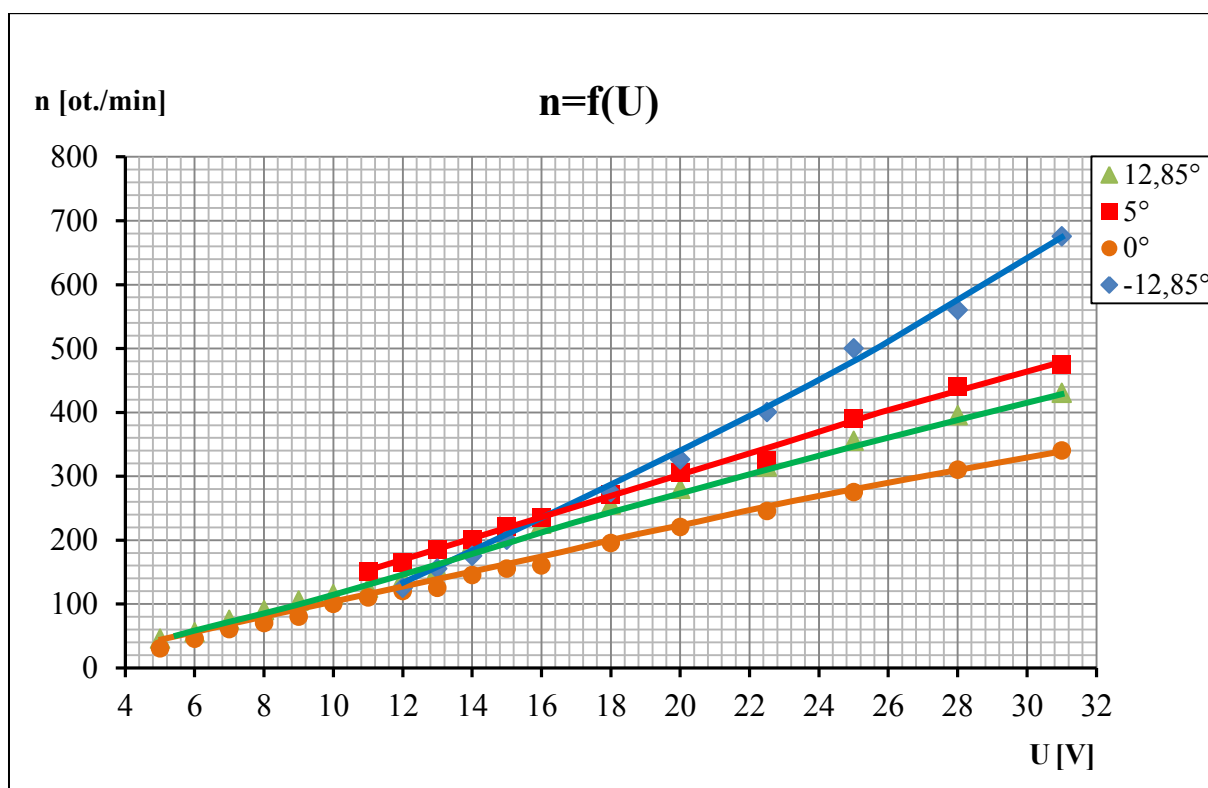
Obr. 10.9 Změna účinnosti v závislosti na momentu, při $U=31V$



Charakteristiky změřené při změně napájecího napětí $U=5$ až 31 V $M=0,15\text{ Nm}$



Obr. 10.10 Změna proudu v závislosti na napětí, při $M=0,15\text{ Nm}$



Obr. 10.11 Změna otáček v závislosti na napětí, při $M=0,15\text{ Nm}$

Závěr

Na základě existence měřitelného kvantově mechanického projevu Casimirova jevu, se člověk alespoň teoreticky přiblížil k pochopení podstaty vakua. Pohled na vakuum, jako na systém, v němž je možno za jistých okolností pozorovat vysokofrekvenční elektromagnetické fluktuace i při teplotách blízkých 0K, může nabízet novou perspektivu a přístup ke strojům s věčným pohybem. Vnější projevy elektromagnetického charakteru vakuových fluktuací, nejsou za běžných okolností zjevné, neboť je v tomto stavu zajištěna jejich symetrie. K porušení symetrie však dochází mezi dvěma blízkými deskami v Casimirově pokusu.

Permanentní magnet se v jistém ohledu, může jevit jako systém, jež svojí přítomností narušuje tuto symetrii elektromagnetických fluktuací vakua a tím v okolním prostoru projevuje jeho dynamickou, jinak skrytou povahu, formou projevu permanentního magnetického pole. V tomto ohledu by mohl být projev stavu narušení symetrie vakuových fluktuací, úměrný energii vložené do permanentního magnetu během procesu magnetování. Tento nekonvenční pohled na permanentní magnetismus, umožňuje objasnit vstup energie vakua do systému s permanentními magnety, jakým by mohl být např. Johnsonův magnetický motor složený pouze z permanentních magnetů. Pokud tento motor opravdu fungoval a výše nastíněná teorie by byla pravdivá, není tento systém již možno považovat za izolovaný od svého okolí, neboť samotná povaha vakua by v tomto případě umožňovala napájení tohoto systému.

V tomto ohledu se jeví zajímavý i systém pro přeměnu energie elektromagnetického záření na užitečnou elektrickou energii popisovaná v šesté kapitole. V tomto systému kmitají drobné dielektrické struktury vytvořené např. elektronovou litografií, vlivem silového působení fluktuací elektromagnetických polí vakua a tím v mikroskopických anténách mezi strukturami indukují využitelnou formu energie. Tyto kmity jsou v přímém poměru k frekvenci záření avšak mnohem nižší frekvenci. Využitím moderních technologických postupů a vysoce jakostních materiálů se v tomto ohledu nabízí nepřeberné možnosti pro experimentování.

Realizace modelu Adamsova motor generátoru, kterou jsem prakticky provedl (však pouze ve funkci motoru), měla za cíl stanovit účinnost tohoto systému, neboť informace popisující tento stroj, hovoří též o vstupu energie vakua do tohoto systému, čímž je údajně možno dosáhnout účinnosti přesahující 100%. Autor Robert Adams, stanovil účinnost svého motor generátoru na základě několik dnů trvajícího měření. Měřil průběhy napětí na vstupní baterii, jež stroj napájela, a bateriích, které postupně připojoval na elektrický výstup stroje. Během činnosti stroje docházelo k postupnému dobíjení baterií na výstupu. V jistém ohledu jsou hodnoty napětí při průběžném měření určitým ukazatelem účinnosti stroje, avšak pro výpočet přesné účinnosti dané poměrem výkonu a příkonu by bylo zapotřebí do výpočtu zahrnout i proudy procházející obvodem.

Dynamoplechy (M600-50) pro rotor a transformátorová jádra (M150-30s) pro stator jsem zakoupil u společnosti Therma FM a permanentní magnety přes internetový obchod Unimagnet.cz. Virtuální model motoru vytvořený v programu SolidWorks, jsem importoval do programu ANSYS Workbench a provedl v něm magnetostatickou analýzu. Analyzoval jsem magnetický obvod složený z jedné osminy statoru (pouze jedno jádro), vzduchové mezery a vyniklého pólu rotoru při nulovém proudu ve statorovém vinutí. Taktéž jsem magnetický obvod řešil zjednodušeným výpočtem, v němž jsem

zanedbal reluktanci železa rotoru i statoru, rozdíl ve tvaru průřezů statorových i rotorových pólů a odhadem jsem stanovil činitel rozptylu v okolí vzduchové mezery. Vypočítal jsem pro daný magnetický obvod demagnetizační činitel a vykreslením přímky byl nalezen pracovní bod P permanentního magnetu. Bod P vytíná na příslušných osách demagnetizační charakteristiky odpovídající hodnoty B_M a H_M permanentního magnetu. Z nich byly vypočteny hodnoty indukce a intenzity ve vzduchové mezeře.

Hodnoty magnetické indukce a intenzity magnetického pole v prostoru vzduchové mezery, vypočtené na základě zjednodušení obvodu a hodnoty vypočtené v ANSYSu, se v případě indukce liší o hodnotu 0,177 T, což vzhledem ke zjednodušení výpočtu a odhadu činitele rozptylu přibližně odpovídá. Rozdíl v hodnotách intenzity magnetického pole činí 188 kA/m, což je opět vzhledem k zjednodušením vyhovující hodnota.

Pomocí programu Ansys byla stanovena nejnižší hodnota proudu (700 mA) tekoucího do vinutí vybraného jádra statoru, při jeho zarovnání s rotorovými póly, která způsobí vyrušení přitažné síly působící na statorové jádro vlivem permanentní magnetizace rotorového pólu. Teoreticky proud větší než 700mA způsobí pootočení rotoru a následný rozběh.

Dále byly graficky stanoveny průběhy sil v osách x a y, působících na rotor během jeho pootočení o úhel 6,43°, kdy došlo k zarovnání sousedních pólů rotoru a statoru.

Změřením základních zatěžovacích charakteristik pomocí dynamometru, byly stanoveny průběhy momentových charakteristik pro různé úhly natočení komutačního disku vzhledem k rotoru. Z grafu průběhu účinnosti v závislosti na momentu, byla odečtena nejvyšší hodnota účinnosti motoru 35,5 % pro natočení komutačního disku o 5° a odpovídající zátěžný moment 0,19 Nm. Tato účinnost je v porovnání se stejně výkonnými motory běžných konstrukcí, poměrně nízká. Jedním z hlavních faktorů, jež ovlivnil výslednou účinnost, je tvar statorových jader, které mají velkou vzduchovou mezeru. Tím pádem dochází ke značnému rozptylu toku magnetické indukce skrze prostor mezi statorovými póly.

Natočením komutačního disku do polohy 0° došlo ke značnému snížení účinnosti na hodnotu okolo 14 %, mající příčinu ve špatném načasování počátku průchodu proudu do příslušného vinutí. Vzájemné silové působení magnetických indukčních toků z jádra a rotoru, působilo brzdícím účinkem, čímž došlo ke snížení účinnosti motoru.

Momentové charakteristiky jsou téměř lineární. Největší moment 0,5 Nm byl naměřen při napětí 31 V při 180 ot./min a to v případě, že komutační disk byl pootočen o 12,85°.

Použitá literatura

- [1] Hubbertpeak [online, cit. 2014-05-08]. Dostupné z: <http://www.hubbertpeak.com/hubbert/1956/1956.pdf>
- [2] Multimediální studijní texty z mineralogie [online, cit. 2014-05-08]. Dostupné z: http://mineralogie.sci.muni.cz/kap_6_2_termodyn/kap_6_2_termodyn.htm
- [3] Molecular and cellular immunology: Institute of molecular genetics, academy of science of the Czech Republic, Prague [online, cit. 2014-05-08]. Dostupné z: http://mci.img.cas.cz/pdf/Zakony_termodynamiky.pdf
- [4] Ústav teoretické fyziky MFF UK [online, cit. 2014-05-08]. Dostupné z: <http://utf.mff.cuni.cz/vyuka/OFY016/F2001/CermakP.htm>
- [5] Galileo [online, cit. 2014-05-08]. Dostupné z: http://galileoandeinstein.physics.virginia.edu/more_stuff/flashlets/mmexpt6.htm
- [6] Encyclopedia Britannica [online, cit. 2014-05-08]. Dostupné z: <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/600149/Evangelista-Torricelli>
- [7] ABZ slovník cizích slov [online, cit. 2014-05-08]. Dostupné z: <http://slovník-cizich-slov.abz.cz/web.php/slovo/horror-vacui-horor-vakui>
- [8] RAFELSKI, Johann a Berndt MÜLLER. The structured vacuum: Thinking about nothing. Published electronically, 2006. ISBN 3-97144-889-3.
- [9] Ústav jaderné fyziky AV ČR: veřejná výzkumná instituce [online, cit. 2014-05-08]. Dostupné z: http://hp.ujf.cas.cz/~wagner/popclan/vakuum/vakuum.html#_ftn2
- [10] Aldebaran [online, cit. 2014-05-08]. Dostupné z: http://www.aldebaran.cz/bulletin/2011_10_kaz.php
- [11] Aldebaran [online]. Casimir - Network, 2005 [cit. 2014-05-08]. Dostupné z: http://casimir-network.fr/IMG/pdf/Casimir_20effect.pdf
- [12] KVASNICA, Jozef. Statistická fyzika. Vyd. 2. Praha: Academia, 1998, 314 s. ISBN 80-200-0676-1
- [13] Aldebaran [online]. Annenberg learning, 2005 [cit. 2014-05-08]. Dostupné z: http://www.learner.org/courses/physics/visual/animation.html?shortname=PHY06_FermiTrap03A
- [14] Cornell University Library: arXiv.org [online, cit. 2014-05-08]. Dostupné z: <http://arxiv.org/pdf/1011.5219v1.pdf>
- [15] Fyzikální sekce Matematicko-fyzikální fakulty UK [online, cit. 2014-05-08]. Dostupné z: http://physics.mff.cuni.cz/kfpp/skripta/kurz_fyziky_pro_DS/www/fyzika.html
- [16] FEYNMAN, Richard Phillips. Feynmanovy přednášky z fyziky s řešenými příklady. 1. vyd. Havlíčkův Brod: Fragment, 2001, 806 s. ISBN 80-720-0420-4.
- [17] VALONE, Thomas. Zero Point Energy: The Fuel of the Future. United States: Integrity Research Institute, 2007, 228 s. ISBN 9780964107021.

-
- [18] KING, Moray B. Quest for Zero Point Energy: Engineering Principles for Free Energy: Engineering Principles for Free Energy. United States: Integrity Research Institute, 2001, 224 s. ISBN 9780932813947.
- [19] FAKTOR, Zdeněk. Transformátory a cívky. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 1999, 393 s. ISBN 80-860-5649-X.
- [20] MAYER, Daniel a Josef POLÁK. Metody řešení elektrických a magnetických polí: [vysokošk. učebnice pro elektrotechn. fakulty]. 1. vyd. Praha: SNTL, 1983, 450 s.
- [21] ABZ slovník cizích slov [online, cit. 2014-05-12]. Dostupné z: <http://slovník-cizich-slov.abz.cz/web.php/slovo/horror-vacui-horror-vakui>
- [22] Wikipedie [online, cit. 2014-05-12]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Vakuum>
- [23] VALONE, Thomas. Practical Conversion of Zero-Point Energy: Feasibility Study of the Extraction of Zero-Point Energy from the Quantum Vacuum for the Performance of Useful Work. United States: Integrity Research Institute, 2005, 90 s. ISBN 9780964107083.
- [24] BEARDEN, By John Bedini and T.E. Free energy generation: circuits. 2nd ed. Santa Barbara, Calif.: Cheniere Press, 2006, 806 s. ISBN 09-725-1468-6.
- [25] Stránky věnované potlačované vědě a zatajovaným vynálezům [online, cit. 2014-05-08]. Dostupné z: <http://free-energy.xf.cz/JOHNSON/S&M.htm>
- [26] ADAMS, Robert. The Adams pulsed motor generator manual. 46 Landing Roat, Whakanate, Nex Zealand, 1992.